

(案)
添加物評価書

グルコン酸銅
(第2版)

令和8年(2026年)10月

食品安全委員会
栄養成分関連添加物ワーキンググループ

目次

	頁
＜審議の経緯＞	3
＜食品安全委員会委員名簿＞	3
＜食品安全委員会添加物専門調査会専門委員名簿＞	4
＜食品安全委員会栄養成分関連添加物ワーキンググループ専門委員名簿＞	4
要 約	6
I. 評価対象品目の概要	7
1. 用途	7
2. 主成分の名称	7
3. 分子式及び構造式	7
4. 分子量	8
5. 性状等	8
6. 安定性	8
(1) 食品添加物の安定性	8
(2) 食品中での安定性	8
7. 起源又は発見の経緯等	9
8. 製造方法	10
9. 我が国及び諸外国における使用状況	10
(1) 我が国における使用状況	10
(2) 諸外国における使用状況	10
10. 国際機関等における評価	11
(1) 添加物としての評価	11
(2) 銅の耐容上限量 (UL) 等について	14
11. 評価要請の経緯	16
II. 安全性に係る知見の概要	17
1. 体内動態	18
(1) グルコン酸銅	19
(2) グルコン酸及びグルコン酸塩類	26
(3) 銅塩類	28
(4) 銅	60
(5) 体内動態のまとめ	63
2. ヒトにおける知見	65
(1) 介入試験・観察研究	67
(2) 症例報告	98
(3) メタアナリシス	100
(4) ヒトにおける知見のまとめ	102
3. 毒性試験	102

(1) 遺伝毒性	102
(2) 急性毒性	110
(3) 反復投与毒性	112
(4) 発がん性試験	124
(5) 生殖発生毒性試験	126
(6) アレルゲン性試験	131
(7) 毒性試験のまとめ	131
4. 安全性に係る知見の概要のまとめ	132
III. 一日摂取量の推計等	132
1. 一般のヒトの銅の一日摂取量	133
2. 総合栄養食品を摂取するヒトの銅の一日摂取量	135
(1) 一日の摂取エネルギーをすべて総合栄養食品から摂取する場合	136
(2) 通常の食事に加えて総合栄養食品を摂取する場合	137
IV. 食品健康影響評価	137
<別紙：略称>	138
<参照>	139

1 <審議の経緯>

2 第1版（使用基準改正に係る食品健康影響評価）

3 2003年12月2日 厚生労働大臣から添加物の指定に係る食品健康影響評価に
4 ついて要請（平成15年12月2日厚生労働省発食安第
5 1202005号）、関係書類の接受
6 2003年12月11日 第23回食品安全委員会（要請事項説明）
7 2004年3月3日 第5回添加物専門調査会
8 2004年4月1日 第39回食品安全委員会（報告）
9 2004年4月1日から2004年4月28日まで 国民からの意見・情報の募集
10 2004年5月20日 添加物専門調査会座長から食品安全委員会委員長へ報告
11 2004年5月27日 第46回食品安全委員会（報告）
12 （同日付け厚生労働大臣に通知）
13 2004年12月24日 食品、添加物等の規格基準の一部を改正する件（平成16年
14 厚生労働省告示第449号）公布、施行
15

16 第2版（使用基準改正に係る食品健康影響評価に伴う改訂）

17 2025年3月18日 内閣総理大臣から添加物の規格基準の改正に係る食品健康
18 影響評価について要請（令和7年3月18日消食基第167
19 号）、関係書類の接受
20 2025年3月25日 第977回食品安全委員会（要請事項説明）
21 2025年5月21日 第21回栄養成分関連添加物ワーキンググループ
22 2025年6月6日 補足資料の提出依頼
23 2025年6月18日 第22回栄養成分関連添加物ワーキンググループ
24 2025年7月11日 補足資料の提出依頼
25 2025年8月4日 第23回栄養成分関連添加物ワーキンググループ
26 2026年9月17日 補足資料の接受（2025年6月6日依頼分、7月11日依頼
27 分）
28 2026年10月26日 第25回栄養成分関連添加物ワーキンググループ
29

30 <食品安全委員会委員名簿>

（2006年6月30日まで）

寺田 雅昭（委員長）
寺尾 允男（委員長代理）
小泉 直子
坂本 元子
中村 靖彦
本間 清一
見上 彪

（2024年7月1日から）

山本 茂貴（委員長）
浅野 哲（委員長代理 第一順位）
祖父江 友孝（委員長代理 第二順位）
頭金 正博（委員長代理 第三順位）
小島 登貴子
杉山 久仁子
松永 和紀

(2026 年 1 月 7 日から)

祖父江 友孝 (委員長)

浅野 哲 (委員長代理 第一順位)

頭金 正博 (委員長代理 第二順位)

春日 文子 (委員長代理 第三順位)

小島 登貴子

杉山 久仁子

松永 和紀

1

2 <食品安全委員会添加物専門調査会専門委員名簿>

(2005 年 9 月 30 日まで)

福島 昭治 (座長)

山添 康 (座長代理)

井上 和秀

今井田 克己

江馬 眞

大野 泰雄

西川 秋佳

林 眞

三森 国敏

吉池 信男

3 <食品安全委員会栄養成分関連添加物ワーキンググループ専門委員名簿>

(2024 年 7 月 1 日から)

吉田 宗弘 (座長)

高須 伸二 (座長代理)

朝倉 敬子

石見 佳子

伊吹 裕子

上西 一弘

内山 奈穂子

澤田 典絵

松井 徹

横田 恵理子

(2026 年 8 月 1 日から)

石見 佳子 (座長)

朝倉 敬子 (座長代理)

伊藤 清美

内山 奈穂子

片桐 諒子

澤田 典絵

高橋 智

戸塚 ゆ加里

北條 仁

4

5 <第 21~23 回栄養成分関連添加物ワーキンググループ参考人名簿>

6 梅村 隆志 (ヤマザキ動物看護大学大学院 動物看護学研究科 研究科長)

7 北條 仁 (一般財団法人 残留農薬研究所 毒性部 一般毒性担当部長)

要 約

栄養強化剤として使用される添加物「グルコン酸銅」について、各種試験成績等を用いて食品健康影響評価を実施した。

事務局より：

「Ⅴ．食品健康影響評価」の審議後に作成します。

1 I. 評価対象品目の概要

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

参考資料 1 の品目概要の欄では概要書の引用文献と本評価書案の引用文献の対応関係を一覧表にしております。（例：概要書の引用文献番号 1 番は、評価書案の引用文献番号 2 番に該当します。）

評価書案に記載した引用文献の妥当性の確認の観点から、概要書には引用されており評価書案に追記が必要な文献や、評価書案から削除が必要な文献があるか、参考資料 1 を参考にご確認ください。

石見専門委員：

・ 36a, b, c 「別添 1 特別用途食品の表示許可基準（一部改正 消食表第 672 号 令和 5 年 11 月 13 日）は最新版に要変更：特別用途食品の栄養成分等の基準は内閣府令（健康増進法に規定する特別用途表示の許可等に関する内閣府令（令和六年内閣府令第百十一号）令和 6 年 12 月 10 日 別表第三（第八条第一項第十一号関係）に規定されることとされたため→最新版：特別用途食品の表示許可基準（消食表第 1028 号、令和 6 年 12 月 10 日）

・ 概要書 P15L12 「使用量の制限」について、総合栄養食品は経管栄養として、経口摂取が困難な方や消化管機能の低下した方にも適用されていることから、その旨記載せずともよいでしょうか？

・ 概要書 P15L26 現在特別用途食品の栄養成分の下限值と上限値は、分析値の許容差の範囲を考慮して設定されているため、0.16mg/100kcal とはならないのではないのでしょうか。消費者庁食品表示課に要確認。

事務局より：

ご指摘いただきました点については、概要書の内容に関する点であり、概要書は要請者から提出いただいているものとなりますので、必ずしも修正は必要ないと考えております。

内山専門委員：

概要書の引用文献 7 番（評価書案の引用文献 10 番）について、第 10 版ではないか。

事務局より：

概要書では第 9 版が引用されており、評価書案でも引用しておりましたが、第 10 版で同様の記載がございますので、第 10 版を引用する形に文献番号等を修正いたしました。

1. 用途

栄養強化剤（銅として）（参照1）【概要書】

2. 主成分の名称

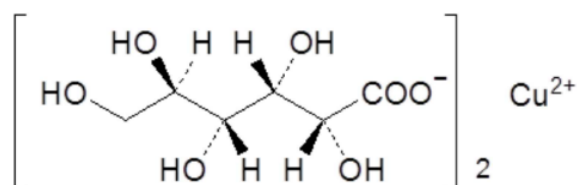
和名：グルコン酸銅

英名：Copper Gluconate（参照2）【1】

CAS 登録番号：527-09-3（参照 1）【概要書】

3. 分子式及び構造式

$C_{12}H_{22}CuO_{14}$ （参照 2）【1】



4. 分子量

453.84（参照 2）【1】

5. 性状等

我が国において現在使用が認められている添加物「グルコン酸銅」の成分規格において、含量として、「本品は、グルコン酸銅（ $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{CuO}_{14}$ ）98.0～102.0%を含む。」、性状として、「本品は、淡青色の粉末である。」とされている。本品目の規格基準の改正を要請した者（以下「規格基準 pp 改正要請者」という。）による今般の成分規格改正案における含量及び性状の規定は、以上の現行規定から変更されていない。（参照 2）【1】

6. 安定性

（1）食品添加物の安定性

現在、流通しているグルコン酸銅は、室温で2年間の使用期限で使用されている。（参照3）【33】

[第 21 回 WG の記載]

内山専門委員：

参照 3 の資料は、品質保証期間(開封前)製造後 2 年と記載があるだけで、どのような根拠データで安定性が担保されているか不明。

（2）食品中での安定性

総合栄養食品と類似の成分からなる市販の医薬品経腸栄養剤について、長期保存試験（12 か月、25℃、60%RH）、加速試験（6 か月、40℃、75%RH）及び過酷試験（3 か月、60℃）においても経時変化が認められず安定であった。

（当該医薬品に含まれる銅は、硫酸銅として添加されたものである。）（参照 4）【45】

[第 21 回 WG の記載]

内山専門委員：

グルコン酸銅としての食品中での安定性を示すデータはないのでしょうか？既に食添として母乳代替食品並びに特定保健用食品及び栄養機能食品には使用可能なので、参考までにそれらの食品でのグルコン酸銅の安定性は示す必要はないのでしょうか？データがないのでしょうか？

事務局より：

概要書の引用文献 43 及び 44 にて、グルコン酸銅を栄養機能食品に使用した際の食品の賞味期限が示されておりますが、グルコン酸銅の食品中での安定性については言及さ

れておらず、このほかのデータは現在ございません。

7. 起源又は発見の経緯等

銅は、約 10 種類の酵素の活性中心に存在し、エネルギー生成や鉄代謝、細胞外マトリクスの成熟、神経伝達物質の生成、活性酸素除去などに関与している。

(参照5)【追 1】

「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」によれば、銅の推定平均必要量、推奨量、目安量及び耐容上限量については、表 1 のとおりとされている。(参照 5)

【追 1】

表 1 銅の推定平均必要量、推奨量、目安量及び耐容上限量

性別	日本人の食事摂取基準（2025 年版）							
	銅の食事摂取基準（mg/日）							
	男性				女性			
年齢	量 推定平均必要	推奨量	目安量	耐容上限量	量 推定平均必要	推奨量	目安量	耐容上限量
0～5（月）	-	-	0.3	-	-	-	0.3	-
6～11（月）	-	-	0.4	-	-	-	0.4	-
1～2（歳）	0.3	0.3	-	-	0.2	0.3	-	-
3～5（歳）	0.3	0.4	-	-	0.3	0.3	-	-
6～7（歳）	0.4	0.4	-	-	0.4	0.4	-	-
8～9（歳）	0.4	0.5	-	-	0.4	0.5	-	-
10～11（歳）	0.5	0.6	-	-	0.5	0.6	-	-
12～14（歳）	0.7	0.8	-	-	0.6	0.8	-	-
15～17（歳）	0.8	0.9	-	-	0.6	0.7	-	-
18～29（歳）	0.7	0.8	-	7	0.6	0.7	-	7
30～49（歳）	0.8	0.9	-	7	0.6	0.7	-	7
50～64（歳）	0.7	0.9	-	7	0.6	0.7	-	7
65～74（歳）	0.7	0.8	-	7	0.6	0.7	-	7
75 以上（歳）	0.7	0.8	-	7	0.6	0.7	-	7
妊婦 付加量					+0.1	+0.1	-	-
授乳婦 付加量					+0.5	+0.6	-	-

8. 製造方法

グルコン酸と塩基性炭酸銅を反応させて製する。（参照6）【32】

9. 我が国及び諸外国における使用状況

（1）我が国における使用状況

グルコン酸銅は、銅塩類のひとつとして人工栄養児の銅強化の目的で 1983 年に食品添加物として指定され、母乳代替食品への使用が認められた。（参照7）【2（硫酸銅 16）】

また、2004 年 12 月には保健機能食品（特定保健用食品及び栄養機能食品）への使用が認められた。（参照8）【5】保健機能食品の中に機能性表示食品が新設されたが、2015 年 3 月にグルコン酸銅については従来の定義に従い、特定保健用食品及び栄養機能食品にのみ使用対象とするとされた。（参照9）【6】現在、グルコン酸銅は、母乳代替食品並びに特定保健用食品及び栄養機能食品以外の食品への使用は認められていない。（参照10）【追 13】

2004年12月の使用基準改正により、使用基準は「グルコン酸銅は、母乳代替食品並びに特定保健用食品及び栄養機能食品以外の食品に使用してはならない。グルコン酸銅は、乳及び乳製品の成分規格等に関する省令別表の二乳等の成分規格並びに製造、調理及び保存の方法の基準の部(五) 乳等の成分又は製造若しくは保存の方法に関するその他の規格又は基準の款(6)の規定による厚生労働大臣の承認を受けて調製粉乳に使用する場合を除き、母乳代替食品を標準調乳濃度に調乳したとき、その 1 Lにつき、銅として0.60 mgを超える量を含むないように使用しなければならない。グルコン酸銅は、特定保健用食品又は栄養機能食品に使用するとき、当該食品の 1 日当たりの摂取目安量に含まれる銅の量が 5 mgを超えないようにしなければならない。」とされている。（参照1）【概要書】

（2）諸外国における使用状況

① コーデックス委員会

コーデックス委員会において、グルコン酸銅は食品添加物として登録されていない。（参照11）【8a】

② 米国における使用状況

米国では、グルコン酸銅は一般に安全と認められる物質（GRAS 物質）として取り扱われ、栄養補助剤としてサプリメント類、あめ類、飲料等に用いられており、使用量の制限は設定されておらず、母乳代替食品に使用できる。（参照12）【13】母乳代替食品においては、銅について、必須の

構成要素に挙げており、最低値を 60.0 µg/100kcal としている。最大値は言及されていない。（参照13）【14】

③ EU における使用状況

欧州連合（EU）では、グルコン酸銅は食品添加物ではなく食品成分扱いとなっている。銅に関連する代表的な食品添加物としては、着色料として銅クロロフィルと銅クロロフィリン（Copper complexes of chlorophylls and chlorophyllins）が登録されており、使用が認められている。（参照14、15）【11a、11b】

欧州委員会委任規則（EU）2016/127 が 2016 年 2 月 2 日に公布され、最新版（2023 年 3 月 17 日）まで更新されている。乳児・離乳期用ミルクの組成の要件において、銅について 100 kJ 当たり最小 14.3 µg 最大 24 µg または 100 kcal 当たり最小 60 µg 最大 100 µg としている。（参照16、17）【12a、12b】

④ オーストラリア、ニュージーランドにおける使用状況

オーストラリア、ニュージーランドでは、グルコン酸銅は食品添加物として定められていない。銅に関連する食品添加物としては、着色料として銅クロロフィルが登録されており、その最大使用量は定められていない（参照18）【15】。母乳代替食品においては、含まれていなければならない栄養素が明記されており、銅も記載されている。最低値は 14 µg/100 kJ、最大値は 43µg/100 kJ としている。銅の供給原料として、3 つの化合物を挙げており、その中のひとつにグルコン酸銅がある。（参照19）【17】

10. 国際機関等における評価

（1）添加物としての評価

① 我が国における評価

2004 年に添加物「グルコン酸銅」の評価が実施されている。また、グルコン酸銅の構成成分であるグルコン酸及びグルコン酸塩類、銅及び銅塩類については、2015 年に添加物「グルコン酸亜鉛」、2022 年に添加物「硫酸銅」の評価が実施されている。

a. 添加物評価書「グルコン酸銅」（2004）

2003 年 12 月に厚生労働省から食品安全委員会に食品安全基本法に基づく食品健康影響評価の依頼がなされ、2004 年 5 月、食品安全委員会は、「グルコン酸銅の許容上限摂取量（UL）を銅として 9 mg/ヒト/日と設定する。」と食品健康影響評価を取りまとめている。（参照20）【3】

1 b. 添加物評価書「グルコン酸亜鉛（第2版）」（2015）

2 2014 年 4 月に厚生労働省から食品安全委員会に食品安全基本法に基
3 づく食品健康影響評価の依頼がなされ、2015 年 1 月、食品安全委員会
4 は、「グルコン酸亜鉛の病者用総合栄養食品摂取者及び一般摂取者の両者
5 に対する亜鉛の摂取量に関する上限値を 0.63 mg/kg 体重/日（亜鉛とし
6 て）と設定する。」とされている。（参照21） 【28】

7
8 c. 添加物評価書「硫酸銅」（2022）

9 ぶどう酒の製造用剤としての使用基準改正のために、2021 年 9 月に厚
10 生労働省から食品安全委員会に食品安全基本法に基づく食品健康影響評
11 価の依頼がなされ、2022 年 8 月、食品安全委員会は、「硫酸銅が添加物
12 として適切に使用される場合、安全性に懸念はない。」としている。（参
13 照22） 【29】

14
15 ② JECFA における評価

16 a. グルコン酸銅の評価

17 JECFA によるグルコン酸銅の安全性評価は行なわれていない。（参照
18 1）【概要書】

[第 21 回 WG の記載]

石見専門委員：

・P10L23 近年、JECFA は栄養成分については評価の対象とはしていないことから、そのよ
うな書きぶりには如何でしょうか。「確認できなかった」→ 概要書通りに「評価は行な
われていない」「確認できない」と「行われていない」は意味が異なると考えます。

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

19
20 b. グルコン酸塩類の評価

21 1998 年の第 51 回会合において、JECFA は、グルコン酸塩類（グル
22 コノデルタラクトン、グルコン酸カルシウム、グルコン酸マグネシウム、
23 グルコン酸カリウム及びグルコン酸ナトリウム）について評価し、「グ
24 ループ ADI を特定しない（Group ADI “not specified”）」としている。
25 （参照23） 【18（グルコン酸亜鉛（第2版）17）】

26
27 c. 銅（銅塩類）の評価

28 1982 年の第 26 回会合において、JECFA は第 10 回会合において暫定
29 的に提案された銅の一日最大許容負荷量について、銅の食事摂取量の情
30 報、毒性試験の結果、実験動物やヒトにおいて観察された毒性（イヌの
31 1 年間混餌投与試験において無作用量が約 5 mg/kg 体重/日と提示され
32 た。）に基づき再評価している。その結果、銅に関して「暫定最大 1 日耐

容摂取量 (PMTDI) 0.05～0.5 mg/kg 体重/日が設定されている (参照24) 【19】」としている。なお栄養素においては、過剰摂取の回避以外に摂取不足の回避を目的として、半数のものが必要量を満たす量である「推定平均必要量」やほとんどの者が充足している量である「推奨量」、一定の栄養状態を維持するのに十分な量である「目安量」といった指標を設けている。(参照 5) 【追 1】

③ 米国における評価

a. グルコン酸銅の評価

FDA は、グルコン酸塩類の科学的レビューを 1974 年に報告した。ヒトにおいて、無月経症患者に対して 100～200mg のグルコン酸銅が投与され、主観的な副作用は観察されなかった等としている。(参照25) 【22】

1979 年に SCOGS (Select Committee on GRAS Substances、GRAS 物質に関する専門委員会) による再評価が行われ、グルコン酸銅は一般的に安全とみなされる (GRAS) とされた。(参照26) 【23】

b. グルコン酸塩類の評価

グルコン酸ナトリウム、グルコン酸カリウム、グルコン酸マグネシウム及びグルコン酸亜鉛は、一般的に安全とみなされる (GRAS) 物質として使用が認められている。(参照27) 【24】

c. 銅 (銅塩類) の評価

硫酸銅及びヨウ化銅は、一般的に安全とみなされる (GRAS) 物質として使用が認められている。(参照 26) 【23】

④ 豪州・ニュージーランドにおける評価

a. グルコン酸銅の評価

Food Standards Australia New Zealand : オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関 (FSANZ) によるグルコン酸銅の安全性評価は行なわれていない。(参照 22) 【29】

[第 21 回 WG の記載]

石見専門委員：

・P11L26 豪州・ニュージーランドにおける評価 「～安全性評価は確認できなかった」→概要書 P10L16 FSANZ の記述通りに、「安全性評価は行なわれていない」

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

b. グルコン酸塩類の評価

FSANZ によるグルコン酸及びグルコン酸塩類の安全性評価は確認できなかった。

c. 銅（銅塩類）の評価

2002 年の第 20 回オーストラリアトータルダイエツトサーベイ（The 20th Australian Total Diet Survey）の報告において、1996 年に WHO（World Health Organization、世界保健機関）が成人の銅の UL として設定した値 0.2 mg/kg 体重/日を追認している。（参照28）【26】

⑤ EFSA 及び SCF における評価

a. グルコン酸銅の評価

EU では、グルコン酸銅は食品添加物ではなく食品成分扱いとなっているため、食品添加物としての安全性評価は行われていない。

b. グルコン酸塩類の評価

グルコン酸及びグルコン酸塩類の評価は行われていない。

c. 銅（銅塩類）の評価

SCF は 2003 年に成人の銅の耐容上限量（UL）を 5mg 銅/日とし、EFSA は 2006 年 11 月に採択した。EFSA では、2008 年 12 月に EFSA は銅の ADI を 0.15 mg/kg 体重/日（成人体重 70kg として 10mg/day）としたが、5mg/日の銅摂取では蓄積が起これないと予測されることから、銅の ADI を 0.07 mg/kg 体重/日（成人体重 70kg として 5mg/day）に設定した、としている。（参照 1）【概要書】

【第 21 回 WG の記載】

石見専門委員：

- ・概要書に記載のある EFSA についても記載しては如何でしょうか

事務局より：

ご指摘を踏まえ、概要書より EFSA の項目を作成いたしました。

（2）銅の耐容上限量（UL）等について

① 厚生労働省における評価

「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」において、銅の UL について、「健康障害非発現量を 10 mg/日とみなし、血漿・血清銅濃度の上昇を起こさないために、不確実性因子を 1.5 として、耐容上限量を男女一律に 7 mg/日とした。」としており、小児・乳児及び妊婦・授乳婦に関しては、十分な報告がないため、耐容上限量は設定しなかった、としている。また、食品

安全委員会は、添加物評価書「グルコン酸銅」において、「これまでの我が国の UL は 9 mg/ヒト/日と設定されているが、この値は、ヒト 12 週間投与試験の NOAEL 10 mg/ヒト/日よりも小さい値であり、今回入手した情報からは、これを変更する必要はないと考えられることから、グルコン酸銅の UL は銅として 9 mg/ヒト/日と評価した。」としている。(参照 5、20)

【追 1、3】

また、食品安全委員会は、清涼飲料水評価書「銅」(2008 年 4 月食品安全委員会決定)において、「グルコン酸銅の UL を銅として 9 mg/ヒト/日とした評価結果を適用し、清涼飲料水における銅の許容上限摂取量は 9 mg/ヒト (成人) /日と設定するのが妥当と判断する」としている。(参照 29)

【30】

さらに、グルコン酸及びグルコン酸塩類については、食品安全委員会は、添加物評価書「グルコン酸亜鉛 (第 2 版)」(2015 年 1 月)において、「グルコン酸亜鉛の病者用総合栄養食品摂取者及び一般摂取者の両者に対する亜鉛の摂取量に関する上限値を 0.63 mg/kg 体重/日 (亜鉛として) と設定する。」としている。(参照 21) 【28】

② IOM における評価

2001 年、米国医学学会 (IOM) は、グルコン酸銅 10mg/人/日の 12 週間投与で肝機能への影響がなかったことから、この値を NOAEL とし、不確実係数 (UF) を 1 として、食品及び補助食品からの銅摂取の UL を 10mg/人/日と算出した。(参照 30) 【25】

③ IPCS における評価

1998 年、International Programme on Chemical Safety (IPCS) は、銅の環境保健クライテリア No.200 において、「11.1 ヒト健康 経口摂取許容範囲の上限は明らかではないものの、成人においては数 mg/日 (2~3 mg/日以上) の範囲であるらしい」とされている。¹また、「これ以外には上限値を特定できるような数値は確かめることができず、有害な健康被害を引き起こす食品からの銅の摂取量に関する情報は十分得られなかった」と記載されている。(参照 31) 【27】

④ FSANZ における評価

2002 年、FSANZ は、第 20 回オーストラリアトータルダイエツトサーベイ (The 20th Australian Total Diet Survey) の報告において、1996 年

¹ なお、「この推定値は銅で汚染された飲料水の胃腸管に及ぼす作用に関する試験結果にのみに基づいている」と附記されている。

に WHO が成人の銅の UL として設定した値（0.2 mg/kg 体重/日）を追認している。（参照 28）【26】

⑤ EFSA 及び SCF における評価

SCF は 2003 年に成人の銅の耐容上限量（UL）を 5mg/日とし、EFSA は 2006 年にその結果を採択した。（参照 32）【20】

EFSA「銅の健康影響に基づく指標値の再評価」（2023 年 1 月）では、2008 年に EFSA は銅の ADI を 0.15mg/kg 体重/日（成人体重 70kg として 10mg/日）としたが、6～8mg/日の継続的な銅の摂取によって体内に銅が蓄積される可能性が示唆されたため、5mg/日の銅摂取では体内に銅の蓄積が起こらないと予測されることから、銅の ADI を 0.07 mg/kg 体重/日（成人体重 70kg として 5mg/日）に設定した、としている。（参照 33）【21】

1 1. 評価要請の経緯

規格基準改正要請者によれば、現在、国内では母乳代替食品及び保健機能食品（特定保健用食品及び栄養機能食品）のみにグルコン酸銅の使用が認められており、銅補給の目的に使われている。病者の食事代替として使用される総合栄養食品においては使用が認められた食品添加物がないため銅原料として食品素材を使用している。原料選択肢の拡大、製品中の銅含有の確保等の観点から、グルコン酸銅への使用拡大は有用である、とされている。

今般、添加物「グルコン酸銅」について、消費者庁に表 2 のとおりの使用基準改正の要請がなされ、関係書類が取りまとめられたことから、食品安全基本法第 24 条第 1 項第 1 号の規定に基づき、食品安全委員会に対して、食品健康影響評価の依頼がなされたものである。

消費者庁は、食品安全委員会の食品健康影響評価結果の通知を受けた後に、添加物「グルコン酸銅」の使用基準について、表 2 のとおり改正を検討するものとしている。

表 2 添加物「グルコン酸銅」の使用基準改正案

改正案	現行
グルコン酸銅は、母乳代替食品並びに特定保健用食品、 <u>健康増進法に規定する特別用途表示の許可等に関する内閣府令別表第三に掲げる総合栄養食品の許可区分に該当するものとして特別用途表示の許可又は承認を</u>	グルコン酸銅は、母乳代替食品並びに特定保健用食品及び栄養機能食品以外の食品に使用してはならない。

<u>受けた食品(以下単に「総合栄養食品」という。)及び栄養機能食品以外の食品に使用してはならない。</u> グルコン酸銅は、乳及び乳製品の成分規格等に関する命令別表の二 乳等の成分規格並びに製造、調理及び保存の方法の基準の部(五) 乳等の成分又は製造若しくは保存の方法に関するその他の規格又は基準の款(5)の規定による内閣総理大臣の承認を受けて使用する場合を除き、母乳代替食品を標準調乳濃度に調乳したとき、その1 Lにつき、銅として 0.60mg を超える量を含むしないように使用しなければならない。 <u>グルコン酸銅は、総合栄養食品に使用するとき、その100kcalにつき、銅として0.25mgを超える量を含むしないように使用しなければならない。</u> グルコン酸銅は、特定保健用食品又は栄養機能食品に使用したとき、当該食品の1日当たりの摂取目安量に含まれる銅の量が5 mgを超えないようにしなければならない。	グルコン酸銅は、乳及び乳製品の成分規格等に関する命令別表の二 乳等の成分規格並びに製造、調理及び保存の方法の基準の部(五) 乳等の成分又は製造若しくは保存の方法に関するその他の規格又は基準の款(5)の規定による内閣総理大臣の承認を受けて使用する場合を除き、母乳代替食品を標準調乳濃度に調乳したとき、その1 Lにつき、銅として 0.60mg を超える量を含むしないように使用しなければならない。 グルコン酸銅は、特定保健用食品又は栄養機能食品に使用するとき、当該食品の1日当たりの摂取目安量に含まれる銅の量が5 mgを超えないようにしなければならない。
---	---

II. 安全性に係る知見の概要

グルコン酸銅は、銅イオン及びグルコン酸イオンに解離すると考えられることから、銅イオン及びグルコン酸イオンに関する知見も併せ、総合的に「グルコン酸銅」の体内動態、ヒトにおける知見及び毒性試験に関する評価を行うこととした。

銅イオンについては、添加物評価書「グルコン酸銅」（2004年5月食品安全委員会決定）及び「硫酸銅」（2022年8月食品安全委員会決定）における知見のほか、それ以外に安全性に係る新たな知見として提出された資料についても検討を行なった。

グルコン酸イオンについては、添加物評価書「グルコン酸銅」（2004年5月食品安全委員会決定）及び「グルコン酸亜鉛（第2版）」（2015年1月食品安全委員会決定）における知見のほか、それ以外に安全性に係る新たな知見として提出さ

1 れた資料についても検討を行った。

2

3 1. 体内動態

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

参考資料 1 の体内動態の欄では概要書の引用文献と本評価書案の引用文献の対応関係を一覧表にしております。（例：概要書の引用文献番号 3 番は、評価書案の引用文献番号 20 番に該当します。）

評価書案に記載した引用文献の妥当性の確認の観点から、概要書には引用されており評価書案に追記が必要な文献や、評価書案から削除が必要な文献があるか、参考資料 1 を参考にご確認ください。

松井専門委員：

「ヒトにおける知見」は「ヒトへの有害影響につながる一連の事象」を示す節であり、論文中には背景として動態関連情報が示されている場合があります。しかし動態関連情報は基本的に「体内動態」で示すべきで、各知見で「ヒトにおける知見」では動態関連情報を示すことの可否を検討する必要があると思います。なお、同一論文を「体内動態」と「ヒトにおける知見」で記載する場合は、異なる内容でも「ヒトにおける知見」で再掲と明記した方が良いでしょう。

特に、「ヒトにおける知見」で引用されているグルコン酸銅投与試験があります。(60 【84 (グルコン酸銅 (第 1 版) 28)】) 投与前と比較して血清、尿、または毛髪中の銅のレベルに有意差はないとされており、唯一のヒトにおけるグルコン酸銅の動態関連情報であり、重要です。

ラットにおけるグルコン酸銅補給による肝臓中銅含量の変化を検討した報告 (Vinson et al. 2007) がありましたので、情報提供します。実験動物での動態関連のグルコン酸銅補給試験は他にはないので掲載をご検討ください。

吸収 (FASEB(1978)で引用 (Sawyer(1964)) (参照 35) 【105 (グルコン酸亜鉛 (第 2 版) 18)】) では「グルコン酸塩では腸からの陽イオンの吸収が促進される。」とされています。グルコン酸銅利用性がかかなり高いなら、銅塩で示された NOAEL よりグルコン酸銅の NOAEL は低くなる可能性があります。上記 2 論文ではグルコン酸銅と銅塩の利用性の直接的な比較はできませんが、グルコン酸銅の利用性は顕著に高くはないことが推論できるかもしれません。

介入試験 (Turnlund ら (1990) ; SCF (2003)、EFSA (2006 及び 2015)、IOM (2001)、OECD (2014) 及び硫酸銅評価書 (2022) にて引用) ((参照 52) 【149 (硫酸銅 87)】) も異なる銅摂取水準の汗、唾液中銅排泄が示されており、動態関連情報として重要です。

乳児における知見の症例報告が評価書案に記載されています。特定のヒト集団に関する動態関連の知見もあった方が良くと思います。

Olivares ら (概要書 66) は乳児での銅吸収を調べた論文です。乳の相違の影響も示唆されていますが、評価書案で復活させても良いと思います。ご検討ください。非妊娠と妊娠時、動物性タンパク質食と植物性タンパク質食の銅吸収を比較した Turnlund ら (1993) の知見があります。情報提供します。掲載をご検討ください。

事務局より：

「体内動態」の項目における知見の記載については、「ヒトにおける知見」の項目との兼ね合いでご議論いただきたく存じます（詳細は「ヒトにおける知見」の項目の枠囲み参照）。

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

この評価書では、吸収として、銅の見かけの吸収、真の吸収、トレーサーの見かけの吸収が示されています。(トレーサーの見かけの吸収は Turnlund ら (1989) でのコメントを参照してください。)

原文ではこれらは「吸収」と表記されていることもあります。すべて論文に従って例えば

「吸収」と記述し、脚注で説明することも考えられますが、読者にとって理解しにくくなります。上記 3 種の吸収を区別できるように記述するとともに脚注で説明することが良いと思います。

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

[第 21 回 WG の記載]のご意見を踏まえ、本文の知見及び吸収に関する記載を修正いたしました。

事務局より：

松井専門委員より、本文の記載の修正をいただきました。

事務局より：

第 22 回 WG のご議論を踏まえ、本文の記載を全体的に修正いたしました。

松井専門参考人：

表 3 肝臓中の銅、腎臓中の銅

表 4 肝臓中の銅濃度

図 1 肝臓中銅濃度

表 7 血漿中銅、血漿中銅 腎臓中銅

表 10 血漿 (μg/mL) 、肝臓 (μg Cu/g 乾重) 他

表 12 血漿中銅濃度 肝臓中の銅濃度

上のどの表記でも意味は通りますが、可能ならば統一した方が良いでしょう。
なお、文章中での「肝臓、腎臓及び血漿中の銅濃度」や「血漿中銅濃度」の表記はそのままが良いと思います。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、修正いたしました。

松井専門参考人：

確認しました。

(1) グルコン酸銅

① 分布 (マウス) (北條ら (2000)、グルコン酸銅評価書初版にて引用)

ddY 系マウス (雄、5 匹/群) に生理食塩水に溶解した 0.05 及び 0.10 mmol/kg 体重 (約 23、45 mg/kg 体重) のグルコン酸銅 (CuGL) を腹腔内投与し、4 時間後に肝臓及び腎臓中の銅濃度を測定する試験が実施されている。

その結果、肝臓及び腎臓中の銅濃度は投与量に依存して増加し、各群間に有意差が認められた。肝臓及び腎臓の組織中の銅濃度を表 3 に示す。(参照34)

【49 (グルコン酸銅 (第 1 版) 9)】

表 3 CuGL 投与 4 時間後の肝臓および腎臓中の銅濃度

CuGL 投与量	0 (対照群)	23	45
----------	---------	----	----

(mg/kg 体重)			
肝臓中の銅濃度 ($\mu\text{mol/g}$)	0.08 ± 0.03^a	0.36 ± 0.05^b	0.45 ± 0.05^c
腎臓中の銅濃度 ($\mu\text{mol/g}$)	0.10 ± 0.04^a	0.91 ± 0.22^b	1.71 ± 0.25^c

1 平均値±標準偏差

2 a, b, c: 同じ行の異なる上付き文字間で有意差あり ($p < 0.05$)

3 ② 分布 (ラット) (Vinson ら (2007))

4 ラット (64 匹、雄、離乳 2 週間) を 7 群に分け、銅の添加がない銅欠乏飼
5 料 (1 群)、銅欠乏飼料に 4, 8, 20 mg Cu/kg のグルコン酸銅を添加した飼
6 料 (各 1 群ずつ) 並びにまたは銅欠乏飼料にグルコン酸銅と同量の銅強化酵
7 母を添加した飼料 (各 1 群ずつ) を 6 週間給与した試験が実施されている。

8 その結果、表 4 に示すように銅欠乏飼料群、グルコン酸銅添加飼料群及び
9 銅強化酵母添加飼料群における体重増加と肝臓重量に差は見られなかった。
10 銅欠乏飼料群と比較して、グルコン酸銅もしくは銅強化酵母を添加した飼料
11 群は飼料中銅濃度に関係なく肝臓中の銅濃度が高かった。また、最大の銅添
12 加量では銅強化酵母添加飼料群に比べてグルコン酸銅添加飼料群の肝臓中
13 銅濃度は低かった。

14 一方、飼料中銅濃度に対する銅欠乏飼料群の平均肝臓中銅濃度は飼料への
15 銅添加量に応じて増加したが、を差し引いた各銅添加飼料群の肝臓中銅濃度
16 は図 1 のように示されている。すように飼料中銅濃度に対する肝臓中銅濃度
17 の用量反応直線の傾きは銅のような栄養素の生物学的利用率の尺度となる。
18 飼料中銅濃度に対する肝臓中銅濃度の傾きはグルコン酸銅添加飼料群では
19 0.108 (相関係数、0.999) であり、銅強化酵母添加飼料群では 0.155 (相関係
20 数、0.997) であった。肝臓中銅濃度の用量反応直線の傾きは銅のような栄養
21 素の生物学的利用率の尺度である。Vinson ら (2007) はこの傾きに基づいて
22 グルコン酸銅と比べて、銅強化酵母中銅の生物学的利用率は 43.5% 高かった
23 としている。(参照35) 【追 16】

24 [第 22 回 WG の記載]

松井専門委員：

方法、結果、考察 (**らは ***としている)) 図表、他機関の論文評価の順だと思います。
移動しました。

25 表 4 銅欠乏食、グルコン酸銅添加飼料及び銅強化酵母添加飼料給与による体重と
26 肝臓中の銅濃度の変化
27

	銅欠乏飼 料群	グルコン酸銅添加飼料群	銅強化酵母添加飼料群
--	------------	-------------	------------

添加量 (mg <u>Cu</u> /kg)		4	8	20	4	8	20
終了時の 体重 (g)	473±57	473±40	466±53	515±28	460±40	471±41	454±39
開始時の 体重 (g)	314±13	317±24	310±21	325±33	306±21	331±22	318±33
平均増加 量 (g)	169	156	156	190	154	140	136
肝臓の重 量 (g)	11.5±1.8	11.4 ± 1.9	10.9 ± 1.4	12.7 ± 1.4	10.1 ± 1.5	10.9 ± 2.2	10.4±1.0
肝臓中の 銅濃度 (ppm) ¹⁾	3.9±1.0	5.3±0.6	5.8±1.0	7.0±1.0	5.7±1.5	6.4±0.9	8.1±1.2*

1 平均値±標準偏差

2 *: 20 mg/kg グルコン酸銅添加飼料群との間に有意差あり (p<0.05)

3 1) 銅欠乏飼料群と比較しすべての銅添加群では肝臓中銅濃度が有意に高かった (p<0.01)。

[第22回WGの記載]

松井専門委員：

表4の注1/2は不要

吉田専門委員：

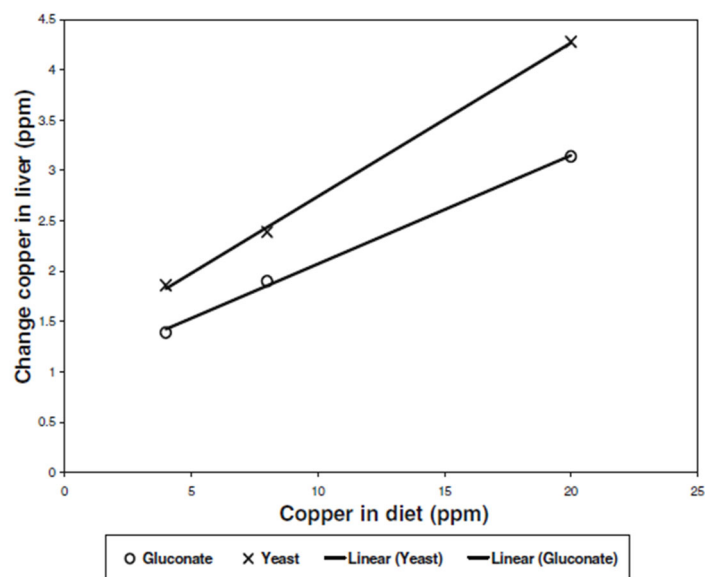
本文の記載修正案：

ラット(64匹)を7群に分け、銅の意図的な添加がない銅欠乏飼料(1群)、銅欠乏飼料に4, 8, 20 mg/kgの銅をグルコン酸銅を添加した飼料食餌(各1群ずつ)並びにまたは銅欠乏飼料食にグルコン酸銅と同量の銅酵母をとして添加した飼料を6週間給与した試験が実施されている。

その結果、表4に示すように銅欠乏飼料投与群、とグルコン酸銅添加飼料投与群及び銅酵母添加飼料群における体重増加に有意な差は見られなかった。また、銅欠乏飼料群、グルコン酸銅添加飼料群及び銅酵母添加飼料群における肝臓重量に差は見られなかった。一方、肝臓中銅濃度は飼料への銅添加量に応じて増加したが、図1に示すように飼料中銅濃度に対する肝臓中銅濃度の用量反応直線の傾きはグルコン酸銅添加飼料群では0.108(相関係数、0.999)であり、銅酵母添加飼料群では0.1555(相関係数、0.997)であった。最大の銅添加量では、銅欠乏飼料食餌投与群と比較して、グルコン酸銅もしくは銅酵母を添加した食餌飼料投与群は飼料中銅濃度に関係なく肝臓中の銅濃度が高かった。(参照235)【追16】。また、銅欠乏飼料群の平均肝臓中銅濃度を差し引いた銅添加飼料群の銅濃度は図11-1のように示されている。肝臓中銅濃度の用量反応直線の傾きは銅のような栄養素の生物学的利用率の尺度である。Vinsonら(2007)はこの傾きに基づいてグルコン酸銅と比べて、銅酵母中銅の生物学的利用率は43.5%高かったとしている。

4

5 図1 銅添加飼料を給与されたラットの肝臓中銅濃度



[第 22 回 WG の記載]

松井専門委員：

Fig. 1 Concentration of Cu in livers of repleted rats（銅添加飼料を給与されたラットの肝臓中銅濃度）

これを入れましょう。このデータは、グルコン酸銅より銅酵母の銅利用性は高いことを示しています。イメージ的にグルコン酸銅利用性はそれほど高くないでしょう。

事務局より：

図を本文に追記いたしました。

松井専門参考人：

「グルコン酸銅投与群は 1 日あたり 10 mg の銅を摂取している。」ですと総摂取量が 10 mg だと誤解される可能性があります。アメリカ・カナダ男性の人の銅摂取量中央値は 1.2～1.6 mg/日ですので、無視できません。くどいですが「グルコン酸銅投与群は 1 日あたり 10 mg の銅をグルコン酸銅として摂取している。」への修正が考えられます。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、修正いたしました。

松井専門参考人：

確認しました。

- ③ 分布（ヒト）(Pratt ら (1985) ; SCF (2003)、EFSA (2006 及び 2015)、IOM (2001)、日本人の食事摂取基準 (2024⁴⁵) 及びグルコン酸銅評価書

(2004) にて引用)

ヒト（男女、14 名、平均年齢 42 歳）を対象として表 5 のとおり投与群を設定し、グルコン酸銅またはプラセボを、カプセルとして 12 週間投与する二重盲検試験が実施されている。グルコン酸銅投与群は 1 日あたり 10 mg の銅を グルコン酸銅として 摂取している。

表 5 用量設定

被験物質	被験者	銅としての投与用量
プラセボ	7 名 (男女割合不明)	0 mg/人/日 (0 mg/カプセル、1 回 1 カプセル、1 日 2 回)
グルコン酸銅	7 名 (男性 3 名、女性 4 名)	10 mg/人/日 (5 mg/カプセル、1 回 1 カプセル、1 日 2 回)

[第 22 回 WG の記載]

松井専門委員：

ヒト試験は、用量の単位は「mg/人/日」で統一ですね。すべてこの表記であることを確認してください。例えば銅の吸収量もこの単位になります。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、全体的に修正をいたします。

松井専門参考人：

「または」ではなく「及び」なのは。

なお全文で「および」と「及び」が混在しています。目次表記に沿って「及び」に修正したらいかがですか？

事務局より：

ご指摘を踏まえ、修正いたしました。

松井専門参考人：

確認しました。

その結果、グルコン酸銅を投与された 7 人の被験者では、投与前と比較して血清、尿、または及び毛髪中の銅濃度に差はなかった。(参照 68)【84 (グルコン酸銅 (第 1 版) 28)】

事務局より：

要請者より補足資料として提出された Boullata (2017) を本文に追記いたしましたので、ご確認をお願いいたします。

松井専門参考人：

②の知見では「生物学的利用率」と記載されていますが、吸収（ヒト）(Boullataら (2017)) ではバイオアベイラビリティとなっています。どちらかに揃えた方が良いでしょう。

「重度肥満者では銅欠乏症を呈することが知られている。」とされていますが、これは報告がある程度の不確かさで、銅欠乏は **may present** とされています。特に減量手術前の銅欠乏の報告引用は[7]のみでしょう。なおこの試験と同程度の BMI (35.6–68.6kgm²) の重度肥満者では対照群より血清中銅濃度が高いとの報告もあります (DOI: 10.1039/c9mt00148d)。この文章をここから削除し、例えば、P22 の L16 に「減量手術を要するほどの重度の肥満患者集団では、銅を含む微量栄養素の欠乏症を呈することが報告されているが、すべての肥満患者の血清中銅濃度は銅欠乏症には分類されない水準であり、著者らは、銅の吸収が早期に起こったことから、肥満による吸収阻害は認められなかったとしている。」としたらいかがですか（ただし、血清中銅濃度の記述は重複する問題があります。）

銅含有量が非常に少ない食事でも間違いではないですが、「**study subjects received the same copper-free meals throughout the 10-h of testing**」とされています。銅を含まない食事はないですが、低い銅濃度の程度をより明瞭にするため「ほとんど銅を含まない食事」が良いかもしれません。

横田専門参考人：

「減量手術を要するほどの重度の肥満患者集団では、銅を含む微量栄養素の欠乏症を呈することが知られている。」を研究目的なので冒頭に持ってきたらいかがでしょうか。

「重度肥満患者では銅の欠乏が報告されているが、銅の吸収についてはほとんど知られていないため、減量手術の適応となる男性患者を対象に銅の薬物動態研究が実施されている。重度肥満患者 7 名（平均年齢 52±8 歳、平均体重・・・）を対象とした。被験者は 12 時間の絶食後・・・」

また、「単回投与」であること、グルコン酸銅摂取後 1 回目の採血前に食事が供与されていることも追記される方がよいと思います。いかがでしょうか。

「食事」→「食事 3 回と間食 1 回」

「供された」→「供され、朝食はグルコン酸銅摂取後 15 分後に供された」

6 名の結果からいえるのは「被験者の重度肥満症患者は銅欠乏症でないにも関わらず絶食後の銅吸収は速やかに行われたことから、肥満による吸収阻害はない事が示唆された」とことと解釈しました。したがって「正常であっても」の部分は、少し書き方を変える方がよいと思いますので、ご検討をお願いいたします。

事務局より：

ご指摘を踏まえまして、「生物学的利用率」に統一いたしました。

「試験中は銅含有量が非常に少ない食事が供された」の文章を「試験中はほとんど銅を含まない食事3回と間食1回が供され、朝食はグルコン酸銅摂取後15分後に供された」に修正いたしました。

「減量手術を要するほどの重度の肥満患者集団では、銅を含む微量栄養素の欠乏症を呈することが知られている。」の取り扱いについて、ご検討をお願いいたします。

「著者らは、銅の状態が正常であっても銅の吸収が早期に起こったことから、肥満による吸収障害は認められなかったとしている。」の記載について、「銅の状態が正常であっても」の部分を削除いたしました。

松井専門参考人：

確認しました。

④ 吸収（ヒト）（Boullata ら（2017））

重度肥満患者7名（男性、平均年齢 52 ± 8 歳、平均体重 135.70 ± 35.32 kg、平均 BMI 44.87 ± 9.01 kg/m²）を対象とした、銅の薬物動態研究が実施されている。減量手術を要するほどの重度の肥満患者集団では、銅を含む微量栄養素の欠乏症を呈することが知られている。被験者は12時間の絶食後、グルコン酸銅（銅として4 mg）のカプセルを単回摂取し、摂取直後（0分）から30、60、90、120、240、360、480、600分後に採血して、血清中の銅濃度を測定した。試験中はほとんど銅を含まない食事3回と間食1回が供され、朝食はグルコン酸銅摂取後15分後で供された。

試験結果は非コンパートメントモデルと1コンパートメントモデルの両方で解析された。7名の平均ベースライン銅濃度は 173.7 ± 29.5 µg/dL で、全員が銅欠乏症には分類されないレベルであった。銅の摂取により全被験者において血清中の銅濃度が $17.1 \sim 62.4$ µg/dL (36.1 ± 19.5 µg/dL) 増加した。非コンパートメントモデル解析では、1～2時間以内に最高血中濃度（C_{max}）を示し、近位腸管での吸収が示唆された。1コンパートメントモデル解析では、評価不能であった1名を除く6名の平均AUCは 254.6 ± 151.3 µg/100mL・h で、これは銅補給による見かけの生物学的利用率を示し、平均滞留時間（MRT）は3～10時間であった。推定分布容積は 1.98 ± 0.36 L であり、脂肪量から算出した被験者の除脂肪量 $53.7 \sim 93.5$ kg (77.92 ± 14.45 kg) で割ると約25 mL/kg となった。

著者らは、銅の吸収が早期に起こったことから、肥満による吸収障害は認められなかったとしている。（参照36）【追19】

1 (2) グルコン酸及びグルコン酸塩類

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

「(2) グルコン酸塩」の少なくとも②と③は塩ではないグルコン酸自体の知見です。グルコン酸銅もグルコン酸塩です。「グルコン酸」、または「ヒトにおける知見」と同様に「グルコン酸及びグルコン酸塩類」で良いかもしれません。

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

グルコン酸及びグルコン酸塩類です。

事務局より：

修正に不備がございましたので再度修正いたしました。

2 3 ① 吸収 (FASEB(1978)で引用 (Sawyer(1964) グルコン酸亜鉛評価書 (第 2 4 版) にて引用))

5 グルコン酸は、種々の金属と、易溶性の塩または錯体を形成する能力があ
6 る。グルコン酸のこの「可溶化機能」により、グルコン酸塩では腸からの陽
7 イオンの吸収が促進される。グルコン酸塩は組織中で容易に解離し、金属イ
8 オンを放出する。(参照 37) 【105 (グルコン酸亜鉛 (第 2 版) 18) 】

9 10 ② 排泄 (ヒト) (JECFA(1998)で引用 (Chenoweth ら(1941) グルコン酸亜鉛 11 (第 2 版) 評価書にて引用)

12 ヒト 3 名 (男性) に 10% グルコノ- δ -ラクトン溶液² (5、10 及び 30 g (84、
13 167、500 mg/kg 体重)) を単回経口摂取 (媒体不明) する試験が実施されて
14 いる (試験終了まで 24 時間の間、絶食又は食事をとらなかったか不明)。

15 その結果、167mg/kg 体重投与群で摂取 24 時間以内に摂取量の 7.7~15% が
16 排泄されたとされている (呼気、尿、糞便等の排泄経路不明)。排泄の大部分
17 は摂取 7 時間以内であり、尿中に毒性を示唆する代謝物は認められなかった
18 とされている。また、84mg/kg 体重投与群では被験物質の尿中排泄は認めら
19 れなかったとされている³。(参照 23) 【18 (グルコン酸亜鉛 (第 2 版) 17) 】

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

グルコン酸ではなくグルコノ- δ -ラクトン投与試験ですので、説明が必要です。水中ではグルコノ- δ -ラクトンとグルコン酸が平衡状態となっている報告 (Sawyer & Bagger, 1959) がありますので情報提供します。この論文を脚注で示すこと等が考えられます。ご検討ください。

毒性でもグルコノ- δ -ラクトン投与試験が記載されています。毒性でも、ここでの脚注番号を付けた方が良いかもしれません。

² グルコン酸とグルコノ- δ -ラクトンは溶液中で平衡状態になる。(参照 38) 【追 15】

³ 500mg/kg 体重投与群については結果の記載は認められなかった。

事務局より：
松井専門委員より情報提供いただきました論文を脚注で示すことについて、ご検討ください。

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

[第 21 回 WG の記載]のご意見を踏まえ、脚注に追記いたしました。

③ 代謝（生成）（OECD(2004) にて引用）

グルコン酸とその誘導体は、天然に存在する物質である。

哺乳類においては、D-グルコン酸とその誘導体である D-グルコノ-1,5-ラク
トン（グルコノ- δ -ラクトン）の両方が炭水化物代謝の重要な中間体である。
また、~~ホスホ~~グルコン酸はグルコース酸化の代謝物である。内因性の~~ホスホ~~
グルコン酸の 1 日の生産量は、体重 60 kg の人で約 450 mg/kg である、と言
われている。（参照39）【追 18】

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

原文通りの訳ですが、どの反応でグルコン酸が合成されているのかが不明瞭だと思います。
ホスホグルコン酸回路由来とするなら、ヒトにおいてこの回路のどの反応で合成されるかを
示すことが重要になりますが、この回路の 6-ホスホグルコン酸からのグルコン酸の生成が動
物で存在するかは調べても分かりませんでした。

OECD SIDS gluconic acid and its derivatives 2004
(<https://hpvchemicals.oecd.org/UI/handler.axd?id=b94cc5f7-de5c-4417-b6c2-f1eb4ffcdb72>
添付) の記述で良いのでは？ヒトにおける合成量も示されています。

Gluconic acid and its derivatives are naturally occurring substances. In mammalian
organisms both D-gluconic acid and its 1,5-lactone are important intermediates in the
carbohydrate metabolism. Gluconate is a metabolite of glucose oxidation. The daily
production of gluconate from endogenous sources is about 450 mg/kg for a 60 kg person.

事務局より：

松井専門委員より情報提供いただいた論文に記載を変更することについて、ご検討くだ
さい。

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

ご意見を踏まえ、論文を変更して記載を修正いたしました。

横田専門委員：

元の資料では、グルコース→グルコン酸→グルコース-6-リン酸という図がありますが、少
なくとも教科書レベルでは、グルコースはヘキソキナーゼ(またはグルコキナーゼ)でリン酸化
されグルコース-6-リン酸になります。

ホスホグルコン酸回路の酸化過程でラクトン体を経て産生される「ホスホグルコン酸」で
あれば、重要な中間体であり、産生量がそれなりに多いのも理解できます。

「グルコン酸」は「ホスホグルコン酸」とする方が良いと思います。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

事務局より：

(3) 銅塩類

銅塩類を被験物質とした体内動態に関わる知見については、添加物評価書「硫酸銅」以降の新たな知見は提出されていない。

添加物評価書「硫酸銅」に記載された硫酸銅ほか銅塩類の体内動態に係る知見は以下のとおりである。

【第 21 回 WG の記載】

事務局より：

本項では、添加物評価書「硫酸銅」（2022 年 8 月食品安全委員会決定）で引用した、硫酸銅に関する体内動態の知見（①～⑧）及び銅塩類に関する体内動態の知見（⑨及び⑩）を記載しております。

また、一部において、EFSA が 2023 年に実施した「銅の健康影響に基づく指標値の再評価（2023 年）」【21】に基づく記載を追記しております。同文献も合わせてご確認ください。

① 吸収、分布、代謝、排泄（ラット）(Johnson 及び Lee(1988); OECD(2014)にて引用)

Long Evans ラット（雄、6 匹/群）に、硫酸銅（II）五水和物で調製した銅添加飼料（飼料中の銅濃度⁴：3.5 mg/kg、5.4 mg/kg、10.5 mg/kg 及び 26.4 mg/kg）を 2 週間与えた後、0.9%生理食塩水 5 mM グリシンに溶解した ⁶⁷Cu（化学形態不明）を筋肉注射し、注射後 6 日目から 4 日間糞便及び尿を採取し、糞便中及び尿中の銅濃度と ⁶⁷Cu の放射比活性を測定し、銅の収支バランス⁵及び真の吸収率⁶を求める試験（試験 17）が実施されている。また、Long Evans ラット（雄、6 匹/群）に、硫酸銅（II）五水和物で調製した銅添加飼料（飼料中の銅濃度⁴：0.40 mg/kg⁸、1.7 mg/kg、3.5 mg/kg、5.4 mg/kg、10.6 mg/kg 及び 21.1 mg/kg）を 2 週間与えた後、⁶⁷Cu を筋肉注射し、試験 1 と同様の方法で銅の収支バランス及び真の吸収率を求めるとともに糞便及び尿採取期後に、肝臓、腎臓及び血漿中の銅濃度を求める試験（試験 2A⁹）及び Long Evans ラット（雄、12 匹/群）に硫酸銅（II）五水和物で調製した銅添加飼料

⁴ ラットの銅要求量は 5.0 mg [Cu](#)/kg 体重（参照 40）【53】

⁵ 収支バランスは蓄積を反映

⁶ 銅の真の吸収率 = $\{I - F + (F \cdot Sf / Sm)\} / I$ （同位体希釈法）

I=銅の摂取量、F=銅の糞便排泄量、Sf=糞便の放射比活性、Sm=組織の放射比活性、F・Sf/Sm は銅の糞便中内因性排泄量（一旦吸収した銅の腸管への排泄量）を示す。

⁷ 原著では、Experiment 2 と記載されている。

⁸ 0.40 mg/kg は硫酸銅（II）五水和物を添加していないと考えられる。

⁹ 原著では、Experiment 3A と記載されている。

(飼料中の銅濃度⁴: 0.40 mg/kg⁸、1.7 mg/kg、3.5 mg/kg、5.4 mg/kg、10.6 mg/kg 及び 21.1 mg/kg) を与え、1 週間後に一晚絶食させ、各飼料群の半数のラットに ⁶⁷Cu を筋肉注射し、各飼料群の残りのラットは、⁶⁷Cu で標識した各飼料 3 g (試験飼料中の銅含量: 1.2 µg、5.1 µg、10.5 µg、16.2 µg、31.8 µg、63.3 µg) を 2 時間かけて摂取させ、ホールボディカウンターで 14 日間 ⁶⁷Cu の保持量を測定し、⁶⁷Cu の真の吸収率¹⁰を求める試験 (試験 2B¹¹) が実施されている。

[第 22 回 WG の記載]

松井専門委員:

脚注 6, 10 に方法名を入れました。

試験 1 を含め、実験動物の不明点があることが示されていない場合も多いですので、週齢不明は削除しておきます。

試験 1 並びに試験 2A 及び 2B の結果、銅の糞便中、尿中及び糞便中内因性排泄量、収支バランス、真の吸収率、生物学的半減期¹²は表 6 のとおりであり、図 2 のように飼料中銅濃度と対数変換した銅の真の吸収率の間には負の相関が認められた。加えて、飼料中銅濃度が高まるほど銅の糞便中内因性排泄量が直線的に増加し、銅濃度が 3.5 mg/kg から 10.6 mg/kg までにおいて銅の収支バランスに差は認められず、銅の真の吸収率は最大で 48%あり、生物学的半減期は銅濃度が多くなるほど短くなった。飼料中銅濃度水準に関係なく、銅の収支バランスよりも銅の真の吸収量が多かった。

[第 22 回 WG の記載]

松井専門委員:

上記「銅含有濃度が 3.5 mg/kg から 10.6 mg/kg までにおいて銅の収支バランスに差は認められず、」と同義で、繰り返しになります。

[第 22 回 WG の記載]

松井専門委員:

図 2 は表 6 の後に移動した方が良いと思います。

事務局より:

ご指摘を踏まえ、表の位置を変更いたしました。

また、試験 2A の結果、肝臓、腎臓及び血漿中の銅濃度は、表 7 のと

¹⁰ ⁶⁴Cu 筋肉内投与及び ⁶⁴Cu 標識飼料給与後、各々について横軸に時間、縦軸に%放射能保持率の対数をプロットしたグラフを作成した。各々の曲線の直線部分を外挿して得られた 0 時間切片を求め、⁶⁴Cu 標識飼料給与後の切片を ⁶⁴Cu 筋肉内投与後の切片で除し、100 を掛けて算出したものを真の銅吸収率とした。(ホールボディカウンター法)

¹¹ 原著では、Experiment 3B と記載されている。

¹² ⁶⁷Cu の生物学的半減期は、投与後 3 日目から 14 日目までの経口投与及び注射したラットの全身保持プロットの傾きから算出した。

おりであった。肝臓、腎臓及び血漿中の銅濃度は、同位体希釈法による真の銅の吸収率、糞便中内因性排泄量、収支バランス及び生物学的半減期と正の相関関係があった。Johnson 及び Lee (1988) は、飼料中銅濃度が増えるほど銅の真の吸収率が低下し、糞便中内因性排泄量が増加するため、飼料中銅の大部分は糞便中に排泄されるとしている。また、銅の恒常性維持には、銅の吸収よりも排泄のほうが重要であるとしている。なお、ホールボディカウンターを用いた場合、同位体希釈法よりも銅の真の吸収率が大きくなる傾向があったとしている。(参照41) 【52 (硫酸銅 45)】

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

脚注 3 について、これは概要書53のデータでしょう。引用した方が良いのでは？

事務局より：

ご指摘を踏まえ、引用文献を追加いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

【第21回WGの記載】

松井専門委員：

脚注 8 について、注射投与時の切片は、100%吸収された投与直後（内因性排泄開始前）の⁶⁷Cu保持率を示し、経口投与時の切片は消化管経由の投与直後の⁶⁷Cu保持率を示していると思います。吸収、排泄（ラット）（Van den Berg ら（1994）の脚注19に詳細が示されていますので、ここではこの詳細な情報を示し、Van den Berg ら（1994）のところでは脚注番号のみとすることが良いでしょう。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

表 6 銅の糞便中、尿中及び糞便中内因性排泄量、収支バランス並びに真の吸収率

	試験 1				試験 2					
飼料中銅濃度 (mg Cu/kg)	3.5	5.4	10.5	26.4	0.4	1.7	3.5	5.4	10.6	21.1
銅摂取量 (μg/人/日)	56±20	86±10	156±11	473±15	7±1	33±2	63±4	92±4	180±14	403±22
銅の糞便中排泄量 (μg/人/日)	34±4	75±7	138±2	431±13	5±1	24±4	43±4	78±7	163±17	358±33
銅の尿中排泄量 (μg/人/日)	3±1.1	3±0.7	4±1.1	5±0.9	1±0.2	2±0.8	3±0.3	3±0.6	4±1.1	5±1.7
銅の収支バランス (μg/人/日)	19±5	11±4	14±12	29±25	2±0.2	8±3	18±4	11±7	13±9	41±15

銅の糞便中内因性 ^① 排泄量 ($\mu\text{g}/\text{人}/\text{日}$) ¹⁾	5 $\pm$ 3	14 $\pm$ 5	22 $\pm$ 5	38 $\pm$ 14	1 $\pm$ 0.2	4 $\pm$ 1	6 $\pm$ 2	15 $\pm$ 5	24 $\pm$ 8	46 $\pm$ 4
銅の真の吸収率 (同位体希釈法)(%)	48 $\pm$ 8	29 $\pm$ 6	25 $\pm$ 7	17 $\pm$ 4	46 $\pm$ 4	40 $\pm$ 10	41 $\pm$ 6	30 $\pm$ 5	23 $\pm$ 7	22 $\pm$ 4
銅の真の吸収率 (ホールボディカウンター法) (%) ²⁾	—	—	—	—	37 $\pm$ 10	63 $\pm$ 17	54 $\pm$ 8	54 $\pm$ 15	48 $\pm$ 12	25 $\pm$ 5
⁶⁷ Cu の生物学的半減期 (ホールボディカウンター法)(日)	—	—	—	—	2.36	2.32	2.23	2.13	2.07	1.96

平均 $\pm$ 標準偏差又は標準誤差（原著には、標準偏差又は標準誤差の別の記載なし。
1) 飼料中銅濃度と糞便中内因性排泄量の間には正の相関が認められた。(試験 1 $r=0.996$, $p<0.02$; 試験 2 $r=0.989$, $p<0.001$)。
2) 飼料中銅濃度と生物学的半減期の間には負の相関が認められた($r=-0.9320$, $p<0.01$)。

図 2 飼料中の銅濃度と銅の吸収率

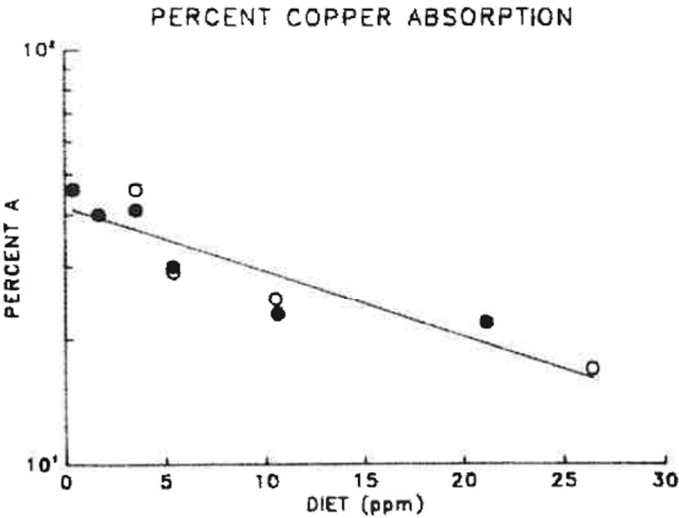


Fig. 2. Percent Cu absorption as a function of dietary Cu concentration. $r = -0.778$, $P < 0.01$. Open circles, Exp. 2; solid circles, Exp. 3A.

[第 21 回 WG の記載]
松井専門委員：
この試験では飼料中銅を投与とは言いにくく、「投与量」では体重あたりや 1 匹 1 日当たりの量とも読めます。「飼料中銅」でどうでしょうか？単位を見れば銅含有濃度と摂取量であることが分かりますが、脚注に銅含有濃度・銅摂取量を記載しても良いでしょう。また、銅含有濃度や銅摂取量と表に示すことでも可です。
本文や脚注、他の表も同様です。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、評価書案中の記載について、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

「投与量が増えるほど」は「銅含有濃度が高まるほど」、「投与した銅の大部分」も「飼料中銅の大部分」とした方が良いでしょう。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

同位体希釈法の結果を銅の真の吸収率、ホールボディカウンター法の結果を銅の吸収率と表記していますが、著者はどちらも **absorption** としており、基本的に真の吸収率を示していると思います。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

「吸収」の表記に関しては前にコメントとしています。統一した方が良いでしょう。以下同です。

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

[第 21 回 WG の記載]のご意見を踏まえ、本文の知見及び吸収に関する記載を修正いたしました。

松井専門参考人：

飼料中濃度に関しては銅化合物でなく、銅であることを強調するため **mg Cu/kg** でも良いですが、表 7、表 10、表 12、表 14 で組織中銅濃度に **μg Cu/g (mg Cu/kg)** といった単位が使われています。これらの単位の **Cu** を削除するか、血漿中濃度を含め銅の単位すべてに **Cu** を付けるか揃えた方が良いでしょう。

事務局より：

組織中銅濃度の **Cu** を削除しました。

松井専門参考人：

確認しました。

1

2

表 7 肝臓、腎臓及び血漿中の銅濃度

飼料中の銅濃度 (mg Cu /kg)	0.4	1.7	3.5	5.4	10.6	21.1
銅摂取量 (μg/人/ 日)	7±1	33±2	63±4	92±4	180±14	403±22

血漿中の銅濃度 ($\mu\text{g/dL}$)	5 $\pm$ 2 ^a	33 $\pm$ 20 ^a	82 $\pm$ 10 ^b	85 $\pm$ 8 ^b	98 $\pm$ 26 ^b	87 $\pm$ 11 ^b
肝臓中の銅濃度 ($\mu\text{g-Cu/g}$ 乾重)	2.4 $\pm$ 1.4 ^a	9.5 $\pm$ 2.3 ^b	13.8 $\pm$ 1.7 ^c	13.3 $\pm$ 1.4 ^c	13.7 $\pm$ 2.6 ^c	16.0 $\pm$ 2.1 ^c
腎臓中の銅濃度 ($\mu\text{g-Cu/g}$ 乾重)	4.9 $\pm$ 0.7 ^a	7.5 $\pm$ 0.7 ^{ab}	9.5 $\pm$ 1.3 ^{bc}	11.8 $\pm$ 1.3 ^c	12.7 $\pm$ 1.9 ^c	17.6 $\pm$ 4.2 ^d

1 平均 $\pm$ 標準偏差又は標準誤差（原著には、標準偏差又は標準誤差の別の記載なし）

2 a, b, c, d : 同じ行の異なる上付き文字間で有意差あり（ $p < 0.05$ ）

3

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

統計検定の結果がないと原著論文の質が低いと判断します。有意差の記載の有無を論文の記述に沿わせることも考えられますが、各知見における有意差の表記の必要性を検討してください。

基本的に有意差がある場合は、特に結果の記述では、その旨（または P 値）を本文で示すことが良いと思います。表に有意差が示されている場合は、本文でも有意性を示すかは検討しても良いと思います。

有意な場合は有意性の記述なしとし、有意でない傾向を示す場合は、「傾向にあった」、「**だが有意ではなかった」などとすることも考えられます。

なお、有意差の記載の有無が統一されていないと、問題でしょう。

例 Van den Berg ら（1994）（参照 40）【55（硫酸銅評価書 48）】 飼料中の銅含有濃度が少ないと、銅の吸収の見かけの効吸収率が高かった。銅欠乏飼料群では、試験 14 日以内に銅の真の吸収が増加した

^{64}Cu の腹腔内投与による生物学的半減期は、銅欠乏飼料群では有意に増加した。銅充足飼料群に比較して、銅欠乏飼料群は銅の胆汁中排泄量が少なくとも試験 7 日目から有意に減少した。胆汁流量は各食餌群間で有意差が認められなかった（平均 0.30 mL/100 g 体重）。

この知見では、原文の表中には統計検定の結果が示されていませんが、本文中には一部記載されています。

論文での記述

銅含有濃度が増えるほど銅の吸収は減少し、銅含有濃度と対数変換した銅吸収率には有意な負の相関が認められた ($r = -0.893$, $P < 0.001$)。

銅含有濃度が増えるほど銅の糞便中内因性排泄量が直線的に増加した (試験 1: $r = 0.0996$ ← 間違いか 0.996?, $P < 0.02$ 、試験 2: $r = 0.9869$, $P < 0.001$ 、要旨では試験 2 の結果のみ記述)

生物学的半減期は銅の含有濃度が多くなるほど短くなった ($r = -0.9320$, $P < 0.01$)。

were related to indices of Cu status. The failure of the whole-body counting data to correlate with the biochemical indices appears to be caused by the low absorption value found for rats fed 0.4 mg Cu/kg. Thus the isotope dilution method may provide a more accurate assessment of Cu absorption than does whole-body counting. Reproducibility of the isotope dilution data between Experiments 2 and 3A was good. The

Isotope dilution は whole body counting より正確であることが示唆されています。記述し

ても良いでしょう。

TABLE 6 のデータ（組織中 Cu と吸収との相関）も重要でしょう。

尿について原著の本文に記述はないですが、主たる排泄経路が糞便中内因性排泄であることを示すために、示した方が良いでしょう。検討してください。

例 銅含有濃度が増えるほど銅の尿中排泄量は増加する傾向を示した。著しく少ない銅の含有濃度では、銅の尿中排泄量と糞便中内因性排泄量に大きな差はなかったが、銅の含有濃度増加にともなう尿中排泄量は糞便中内因性排泄量と比べ増加が緩慢であると専門調査会は考えた。

OECD（2014）は、銅の真の吸収率を報告している様々な動物実験の結果を踏まえ、ラットは銅の吸収率を高め、胆汁排泄を減らすことで低銅食に適応することが示され、飼料中の銅濃度が高くなると、銅の吸収率が低下し、糞便中及び内因性の銅の排泄が増加するとしている。（参照 42）

【追 2（硫酸銅 46）】

② 吸収、分布、排泄（ラット）（Van den Berg 及び Beynen（1992）; OECD（2014）にて引用

Wistar ラット（雄、飼料内容に応じて 9 匹ずつ 2 群に分割）に、銅欠乏（銅濃度⁴：1.0 mg Cu/kg¹³）又は銅充足（銅濃度：5.0 mg Cu/kg¹⁴）、アスコルビン酸無添加又はアスコルビン酸添加（アスコルビン酸添加量：1 g/kg）の組み合わせの 4 種の飼料を 28 日間与えたとともに、11 日目から 13 日目までの間及び 24 日目から 26 日目までの間に、糞便中及び尿中の銅を測定するとともに、24 日目に⁶⁴Cu 酢酸を腹腔内投与した後、ホールボディカウンターで⁶⁴Cu の全身保持量を測定し、ガンマカウンターで 24 日目から 26 日目までの糞便中及び尿中の⁶⁴Cu を測定する試験が実施されている。また、試験最終日に血液と臓器を採集し、銅濃度が測定されている。

その結果、銅の見かけの吸収率¹⁵は表 8 のとおりであり、銅の摂取量が少ないと、銅の見かけの吸収率が高かった。また、⁶⁴Cu の尿中及び糞便中排泄率並びに血漿及び各臓器中の銅濃度はそれぞれ表 9 及び表 10 のとおりであり、銅の摂取量が少ないと、⁶⁴Cu の糞中排泄と尿中排泄は少なかった。

また、血漿及び各臓器中の銅濃度は、銅の摂取量が少ないと、低かった。

さらに、⁶⁴Cu の全身保持量は、銅の摂取量が少ないほど高く、アスコルビン酸無補給の場合、銅欠乏飼料群及び銅充足飼料群の⁶⁴Cu の生物学的半減期は、

¹³ 原著では、計算値と記載されている。6 回の測定の平均値は 0.8 mg/kg。

¹⁴ 硫酸銅（II）五水和物で調製。原著では、計算値と記載されている。6 回の測定の平均値は 5.3 mg/kg。

¹⁵ 銅の見かけの吸収率（相対値）は以下の式を用いて算出した。

銅の見かけの吸収率（相対値）＝100×（銅の摂取量－糞便中の銅量）/銅の摂取量

それぞれ 19.0 日及び 6.0 日であった。（参照43）【54（硫酸銅 47）】

【第 22 回 WG の記載】

松井専門委員：

考察と本文でのアスコルビン酸に関する記述は不要ですが、方法には入れてください。

表 8 銅の摂取量、糞便中の銅量銅の見かけの吸収率

	~~ビタミンC~~ ア スコルビン 酸無補給群		アスコルビ ン酸 ~~ビ~~ タミ ~~ンC~~ 補給群 (1 g/kg)		銅の効果	アスコルビ ン酸の効果	プールされ た標準誤差
飼料中の銅濃度 (mg ~~Cu~~ /kg)	1.0	5.0 ¹⁴	1.0	5.0	—	—	—
銅の摂取量 (μg/ 日)	12	74	11	71	—	—	0.3
糞便中の銅量 (μg/日)	4	43	5	55	P<0.001	P<0.01	1.9
銅の見かけの吸 収率 (%)	70	42	59	23	P<0.001	P<0.01	2.1

試験開始後 11～13 日と 24～26 日の各飼料群のラット 9 匹の平均値

【第 22 回 WG の記載】

松井専門委員：

脚注ではなく、アスコルビン酸と銅の効果として示した方が良いでしょう。：以下同

表 9 ⁶⁴Cu の尿中及び糞便中排泄率

	~~アスコルビン酸~~ ビ ~~タミ~~ ンC無補給群		アスコルビン酸 ~~ビ~~ ~~タミ~~ ンC補給群		銅の効果	アスコルビ ン酸の効果	プールされ た標準誤差
飼料中の銅濃度 (mg ~~Cu~~ /kg)	1.0	5.0	1.0	5.0	—	—	—
⁶⁴ Cu の尿中排泄率 (%)	2	7	2	8	P<0.001		0.4
⁶⁴ Cu の糞便中排泄 率 (%)	6	21	7	30	P<0.001	P<0.01	1.1

試験開始後 11～13 日と 24～26 日の各飼料群のラット 9 匹の平均値

【第 22 回 WG の記載】

松井専門委員：

2 水準での相関は意味がありません。注 2 の記載はおかしいでしょう。

表 10 血漿及び各臓器中の銅濃度

	ビタミンCアスコルビン酸無補給群		ビタミンCアスコルビン酸補給群 (1 g/kg)		銅の効果	アスコルビン酸の効果	プールされた標準誤差
	1.0	5.0	1.0	5.0			
飼料中の銅濃度 (mg Cu/kg)					—	—	—
血漿 (μg/mL)	<0.1	1.09	<0.1	0.98	P<0.01		1.10
肝臓中の銅濃度 (μg Cu/g 乾重)	6.49	10.33	6.06	9.22	P<0.001	P<0.05	1.90
心臓中の銅濃度 (μg Cu/g 乾重)	11.76	20.44	11.64	19.19	P<0.001		1.67
腎臓中の銅濃度 (μg Cu/g 乾重)	8.84	17.01	8.16	15.75	P<0.001		3.46
脾臓中の銅濃度 (μg Cu/g 乾重)	1.50	5.29	1.48	4.47	P<0.001		3.88
筋肉中の銅濃度 (μg Cu/g 乾重)	1.48	4.52	1.23	4.34	P<0.001		1.44
骨中の銅濃度 (μg Cu/g 乾重)	2.05	2.74	1.63	2.48	P<0.001		3.73
皮膚中の銅濃度 (μg Cu/g 乾重)	0.90	3.65	0.71	3.07	P<0.001		4.94

各飼料群のラット 9 匹の平均値。

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

以下は記載した方が良いでしょう。

腹腔内投与した ^{64}Cu の糞中排泄と尿中排泄は銅充足飼料群と比較して、銅欠乏飼料群で有意に低かった。 The excretion of ^{64}Cu in faeces and urine was significantly decreased in rats fed on the low-Cu diet

試験計画がビタミン C 補給を含めた二元配置であり、統計検定は ANOVA を使っているの
で、この表の表記では原著で示されている飼料中銅含有濃度の効果の有意性を記載すること
ができません。統計検定は重要ですので、ビタミン C 補給のデータ（効果の有意水準を含む）
だけでも記載した方が良いでしょう。検討してください。

【第 22 回 WG の記載】

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を一部修正いたしました。

松井専門委員：

前のコメントの様に、ビタミン C 補給群の結果を示さないと、結果が統計的に有意かは分
かりません。

例えば「銅の見かけの吸収率 は表 8 のとおりであり、銅の摂取量が少ないと、銅の吸収の

見かけの吸収率が高かった。」の「見かけの吸収率が高かった。」はビタミン C 補給群のデータを含めた分散分析の結果ですので、このままでは統計検定はなしで、傾向を示すことになります。

ビタミン C 補給群のデータをいれることの可否を検討いただければありがたいです。

事務局より：

ご意見を踏まえ、表にビタミン C 補給群のデータを追記いたしました。ご確認いただけますと幸いです。

事務局より：

表中の「ビタミン C」を本文に合わせて「アスコルビン酸」に修正いたしました。

松井専門参考人：

確認しました。

③ 吸収、排泄（ラット）（Van den Berg ら（1994）；OECD（2014）にて引用）

Wistar ラット¹⁶（雄、3 週齢、18 匹ずつ 2 群に分割）に、試験飼料（飼料中の銅濃度 4：1.0 mg [Cu](#)/kg¹⁷（銅欠乏飼料群）又は 5.0 mg [Cu](#)/kg¹⁸（銅充足飼料群））を与え、⁶⁴Cu 銅線を硝酸溶液に溶解し、酢酸ナトリウム緩衝液（0.05 mol/L、pH 5.4）で希釈した ⁶⁴Cu 液で標識した各飼料を経口投与、又は ⁶⁴Cu 液を腹腔内投与し、投与直後から 96 時間後まで一定間隔でホールボディカウンタにより全身の放射活性を計測し、銅の真の吸収率を求める試験（試験 1）を実施している。投与スケジュールについて、0 日目、21 日目及び 42 日目に各群 6 匹のラットのうち、3 匹のラットには ⁶⁴Cu 標識飼料を投与し、残り 3 匹には ⁶⁴Cu を腹腔内投与し、また、7 日目、28 日目及び 49 日目に、前回標識飼料投与したラットには腹腔内投与、前回腹腔内投与したラットには標識飼料投与した。糞便は、0 日目から 14 日目、21 日目から 35 日目及び 42 日目から 56 日目までの間に採取した。また、各糞便採取期終了時に血液と肝臓を採取し、銅濃度を測定した。

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

脚注 14 について、なぜここに引用が示されているのですか？記載の違いですか？

事務局より：

記載の間違いでございます。ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

¹⁶ 銅の真の吸収量の測定終了時の平均体重（平均値±標準誤差）について、投与後 14 日目は 178±3 g、投与後 35 日目は 270±4 g、投与後 56 日目は 308±6 g であった。

¹⁷ 原著では、計算値と記載されている。4 回の測定の平均値は 1.1 mg [Cu](#)/kg。

¹⁸ 硫酸銅（II）五水和物を添加し調製。原著では、計算値と記載されている。4 回の測定の平均値は 5.2 g/kg。

次に、非近交系 Wistar ラット¹⁹（雄、7 週齢）に、試験開始前の 10 日間、銅として 5.0 mg Cu/kg を含む飼料を与え、試験前期間の終わり（試験 0 日目）に、無作為に選んだラット 6 匹は胆管カニュレーションを行い、残りのラットは試験 1 と同じ飼料内容に応じて 24 匹ずつ 2 群に分割し、各飼料群 24 匹のうちラット 6 匹に胆管カニュレーションを試験 7、14、28、56 日目に行い、銅の胆汁中排泄量を求める試験（試験 2）を実施している。試験開始 7 日前から試験 0 日目、0 日目から 7 日目、7 日目から 14 日目、21 日目から 28 日目、48 日目から 55 日目までの間に糞便を採取した。胆汁流量の概日変化の影響を防ぐため、9 時から 13 時に胆汁を採取し、胆汁分泌量は、胆汁液の密度を 1.0 g/mL と仮定して重量法を用いて測定した。

試験 1 の結果、銅の見かけの吸収率¹⁵及び真の吸収率¹⁰、糞便中内因性排泄量²⁰並びに血漿中及び肝臓中の銅濃度は表 11 及び表 12 のとおりであった。飼料中の銅濃度が低いと、銅の見かけの吸収率が高かった。銅充足飼料群と比べ銅欠乏飼料群では試験 14 日以内では銅の真の吸収率は高かったが、その後は両群間の差は認められなかった。銅欠乏飼料群では、銅の糞便中排泄量が大幅に減少した。また、⁶⁴Cu の腹腔内投与による生物学的半減期は、銅欠乏飼料群では有意に増加した。なお、吸収率は、Johnson 及び Lee (1988) の同位体希釈法により求めた値より高かった。

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

銅の吸収の見かけの効率は冗長でしょう。前出のように銅の見かけの吸収率で良いと思います。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

また、試験 2 の結果、銅の胆汁中排泄量は表 13 のとおりであり、銅充足飼料群に比較して、銅欠乏飼料群は銅の胆汁中排泄量が少なくとも試験 7 日目から減少した。なお、胆汁流量は各飼料群間で差は認められなかった（平均 0.30 mL/100 g 体重）。

Van den Berg ら (1994) は、銅欠乏飼料群では、銅の吸収率が高まり、胆汁中の銅の排泄が減少したことは、Johnson 及び Lee (1988) の報告と一致しており、これは銅欠乏飼料群において ⁶⁴Cu の生物学的半減期が増加し

¹⁹ 平均体重（平均値±標準誤差）について、0 日目は 148±5 g、投与後 7 日目は 261±3 g、投与後 14 日目は 284±4 g、投与後 28 日目は 345±6 g、投与後 56 日目は 407±9 g であった。

²⁰ 銅の糞便中内因性排泄量＝銅の真の吸収量－銅の見かけの吸収量

たことを支持するものであるとしている。また、銅充足飼料群の胆汁中排泄濃度は約 0.2 µg/100 g 体重/時間、銅の糞便中内因性排泄濃度は約 0.3 µg/100 g 体重/時間であり、これは、銅の胆汁中排泄が糞便中内因性排泄の大部分を占めるという知見を支持するものであるとしている。銅欠乏飼料群では、試験期間を通して銅の胆汁中排泄濃度及び糞便中内因性排泄量が有意に低下した。銅欠乏飼料群では銅の状態が低下していたため、銅の胆汁中排泄の減少は、銅の状態を新たな定常状態にするために必要な二次的な代償メカニズムであると考えられるとしている。(参照44)【55 (硫酸銅評価書 48)】

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

飼料における銅の投与量は前でコメント済 表 11 の表記（飼料中の銅含有濃度）が良いでしょう。

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

原文通りですが、糞便中内因性排泄量は 7 日目からではありません。胆汁中排泄濃度及び糞便中内因性排泄量ともに「試験期間を通して」で良いのでは？

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

表 11 銅の見かけの吸収率及び真の吸収率（試験 1）注 1、注 2

	飼料中 ~~の~~ 銅濃度 (mg <u>Cu</u> /kg)	銅の見かけの 吸収率 (%)	銅の真の吸収 率 (%)	銅の糞便中内因性 排泄量 (µg/日)
期間 1	1. <u>0</u>	46±4*	72± 6*	3± 1*
(試験 0～14 日目)	5. <u>0</u>	32±2	55± 5	16± 3
期間 2	1. <u>0</u>	48±3*	66± 3	3± 1*
(試験 21～35 日目)	5. <u>0</u>	31±2	56±13	22±10
	飼料中銅濃度 (mg <u>Cu</u> /kg)	銅の見かけの 吸収率 (%)	銅の真の吸収 率 (%)	銅の糞便中内因性 排泄量 (µg/日)
期間 3	1. <u>0</u>	53±3*	58± 7	3± 1*
(試験 42～56 日目)	5. <u>0</u>	22±3	52±10	24± 7

ラット 3～6 匹の平均値±標準誤差。

* : 5.0 mg/kg 投与群との間に有意差あり (p<0.05)。

表 12 血漿中及び肝臓中の銅濃度 (試験 1)

	飼料中の銅濃度 (mg Cu/kg)	血漿中の銅濃度 (μg/mL)	肝臓中の銅濃度 (μg Cu/g 乾重)
期間 1 (試験 14 日目)	1.0	0.07±0.04*	8.3±0.7*
	5.0	0.93±0.04	13.8±0.4
期間 2 (試験 35 日目)	1.0	0.24±0.10*	9.9±0.5*
	5.0	0.96±0.04	12.2±0.1
期間 3 (試験 56 日目)	1.0	0.61±0.11*	10.8±0.5*
	5.0	0.96±0.04	12.7±0.4

ラット 6 匹の平均値±標準誤差。

* : 5.0 mg/kg 飼料群との間に有意差あり (P<0.05) 。

松井専門参考人：

表 12 について、士で揃える。

事務局より：

肝臓中の銅濃度の数値について、ご指摘の通りに揃えました。

松井専門参考人：

確認しました。

松井専門参考人：

本文及び脚注に従って、小数点 1 位まで示しました。

表 13 銅の胆汁中排泄量 (試験 2)

	飼料中の銅濃度 (mg Cu/kg)	銅の胆汁中排泄量 (μg/100 g 体重/時間)
0 日目	5.0	0.29±0.12
期間 1 (試験 7 日目)	1.0	0.02±0.01*
	5.0	0.11±0.06
期間 2 (試験 14 日目)	1.0	0.06±0.04*
	5.0	0.24±0.07
	1.0	0.03±0.02*

期間 3 (試験 28 日目)	5.0	0.16±0.06
期間 4 (試験 56 日目)	1.0	0.03±0.02*
	5.0	0.19±0.07

ラット 6 匹の平均値±標準誤差。

* : 5.0 mg/kg 飼料群との間に有意差あり (P<0.05)

④ 吸収、分布、排泄 (ラット) (Coudray ら (2006))

[第 22 回 WG の記載]

松井専門委員：

以下の脚注 21 は、表に従って修正しました。

他に同じ意味の脚注がないかチェックし、新規なら新たに番号付けて記入

前に同じ意味の脚注があるなら、その番号を付け、脚注は削除

必ず脚注には番号を付け、同じ番号を本文または図表に付ける

これがかかれていた脚注です

^{65}Cu の腸管吸収 = ^{65}Cu の投与量 - ^{65}Cu の糞便中排泄量

^{65}Cu の蓄積 = ^{65}Cu の投与量 - ^{65}Cu の糞便中排泄量 - ^{65}Cu の尿中排泄量

9、22、44 及び 88 週齢の Wistar ラット (雄、10 匹/群) に試験飼料 (銅源には炭酸銅を用い、銅として 7 mg Cu/kg^4) を 30 日間与え、4 週目のはじめに塩酸溶液に溶解した ^{65}Cu (elemental Cu) を含む安定同位体溶液を強制経口投与し、4 日間糞便及び尿を採取し、剖検時に肝臓・脛骨を採取し、銅と ^{65}Cu を測定する試験を実施している。

その結果、腸管における ^{65}Cu の吸収率²¹、肝臓中及び骨中の銅含有濃度並びに ^{65}Cu の糞便中及び尿中への排泄量、 ^{65}Cu の蓄積率は表 14 のとおりであり、ラットの週齢による有意差はなかった。一方、血漿中銅濃度は週齢の増加に伴い上昇した。

Coudray ら (2006) は、加齢に伴い増加する炎症状態によって血漿中銅濃度の上昇を説明できる可能性があるとしている。(参照 45) 【63 (硫酸銅 58)】

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

分析方法は削除

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

²¹ ^{65}Cu の腸管吸収率 (%) = (^{65}Cu の投与量 - ^{65}Cu の糞便中排泄量) / ^{65}Cu の投与量

^{65}Cu の蓄積率 (%) = (^{65}Cu の投与量 - ^{65}Cu の糞便中排泄量 - ^{65}Cu の尿中排泄量) / ^{65}Cu の投与量

表 14 腸管における ^{65}Cu の吸収率と蓄積率、肝臓中及び骨中の銅含有濃度並びに ^{65}Cu の糞便中及び尿中への排泄量

	9 週齢 (測定時 13 週 齢)	22 週齢 (測定時 26 週 齢)	44 週齢 (測定時 48 週 齢)	88 週齢 (測定時 92 週 齢)
^{65}Cu の投与量 (μg)	71.5 $\pm$ 2.0 ^b	70.3 $\pm$ 0.6 ^a	70.0 $\pm$ 0.7 ^a	70.1 $\pm$ 1.1 ^a
腸管における ^{65}Cu の吸収率 (%)	18.9 $\pm$ 8.2	19.6 $\pm$ 8.6	15.6 $\pm$ 3.7	14.7 $\pm$ 5.0
^{65}Cu の蓄積率 (%)	17.4 $\pm$ 8.0	18.3 $\pm$ 8.4	14.4 $\pm$ 3.6	13.4 $\pm$ 4.9
^{65}Cu の糞便中への 排泄量 (μg)	58.0 $\pm$ 6.2	56.6 $\pm$ 6.3	59.1 $\pm$ 3.0	59.8 $\pm$ 3.3
^{65}Cu の尿中への 排泄量 (μg)	1.08 $\pm$ 0.29	0.85 $\pm$ 0.43	0.85 $\pm$ 0.48	0.93 $\pm$ 0.29
血漿中の銅濃度 (mg/L)	0.90 $\pm$ 0.09 ^a	1.17 $\pm$ 0.11 ^b	1.28 $\pm$ 0.07 ^c	1.42 $\pm$ 0.19 ^d
肝臓中の銅含有濃度 (mg-Cu/kg 湿重)	3.77 $\pm$ 0.39	3.34 $\pm$ 0.47	3.58 $\pm$ 0.42	3.31 $\pm$ 0.53
骨中の銅含有濃度 (mg-Cu/kg 乾重)	2.46 $\pm$ 0.41	2.37 $\pm$ 0.41	2.55 $\pm$ 0.67	2.32 $\pm$ 0.49

ラット 10 匹の平均値 $\pm$ 標準偏差。

a, b, c, d : 同じ行の異なる上付き文字間で有意差あり ($p < 0.05$)

【第 22 回 WG の記載】

松井専門委員：

ANOVA の P 値も入れてください。

^{65}Cu の蓄積率と血漿銅濃度も入れてください。

また、(3) 銅塩類の項目中のヒトに関する知見の前に移動が必要。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

また、項目中の場所を変更いたしました。

松井専門委員：

注 3 は不要です。

⑤ 吸収、排泄 (ヒト) (van Ravesteyn (1944))

オランダにおいて、健常成人 3 名 (A : 女性 ; 23 歳、B : 男性 ; 30 歳、C : 女性 ; 26 歳) に通常の食事を 6 日間摂取させ (第 1 期)、その後 150 mg/人

1 /日の硫酸銅（詳細不明²²、銅として 114.56 mg/人/3 日²³）を 3 日間経口投与
2 し、投与開始から 6 日間²⁴、糞便中の銅濃度を測定する（第 2 期）試験（試
3 験 1）を実施している。なお、第 1 期においても、同様に糞便中の銅濃度を
4 測定している。また、健常成人 2 名（A 及び B）については、銅の胆汁中排
5 泄を測定する試験（試験 2）を実施している。胆汁は十二指腸ゾンデを用いた
6 十二指腸液として採取された。

7 試験 1 の結果、銅の見かけの吸収率²⁵は、被験者 A は 29%、被験者 B は
8 27.5%、被験者 C は 24%であった。また、試験 2 の結果、被験者 A 及び被験
9 者 B とともに胆汁中排泄は銅投与~~後~~によって大きく増加した。van Ravesteyn
10 （1944）は、おそらく少なくとも経口投与した銅の約 25%が消化管から吸収
11 され、投与開始から 6～9 日目までに、投与した硫酸銅の 65～75%が糞便中
12 に~~回収排泄~~されるとしている。銅が消化管から吸収されることは、投与後数
13 日で胆汁中排泄が投与前の 2 倍以上になっていることから分かるとしてい
14 る。（参照 46）【56（硫酸銅評価書 49）】

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

この論文のファイルは見当たりませんでした。掲載するなら胆汁採取法を示すことが望まれます。タイトルは in man となっています。女性は含まれているのでしょうか？削除しても良いのでは？

事務局より：

事務局にて過去の評価で用いた論文を入手いたしましたので、ご確認の上、ご検討いただけますと幸いです。

松井専門委員：

確認しました。

ヒトにおける銅の胆汁排泄が重要な知見ですが、胆汁は十二指腸ゾンデを用いた十二指腸液として採取されています。通常は胆汁と胆汁を区別するため各々の分泌促進剤投与後に十二指腸液を採取しますが、この試験では区別されていない点が問題だと思います。ただし、ヒトにおける銅の胆汁排泄の実際の知見はこれだけですので、胆汁採取法を追加し掲載しても良いと思います。

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を追加いたしました。

吉田専門委員：

○mg/人/日は濃度ではなく摂取量です。脚注 24 は DRI における UL の説明ですので高用量という用語の説明には使えます。

²² 硫酸銅の摂取量（150 mg/人/日）及び銅に換算したときの 3 日間の投与量（114.56 mg/人/3 日）を踏まえると、試験に用いた硫酸銅は、硫酸銅（II）五水和物であると考えられる。

²³ 「~~日本人の食事摂取基準（2020 年版）~~」では、銅の耐用上限量は ~~18 歳以上の男女一律で 7 mg/人/日とされている。~~「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」では、銅の耐容上限量は 18 歳以上の男女一律で 7 mg/人/日とされており、この量は耐容上限量を大きく上回っており、高用量である。（参照 5）【追 1】

²⁴ 被験者 C では、第 2 期終了時に経口投与した硫酸銅が全て糞便と一緒に消失していることを確認するため、第 2 期を 9 日間に設定した。

²⁵ 体内に保持された銅の割合＝（銅摂取量－糞便中の銅量）/銅摂取量×100 として算出しており、実際は銅の見かけの吸収率を示している。

同様の箇所が 41,43,45,48,50 にもあります。また脚注 24 は高用量のところにつけておくべきです。

解説：人の場合、必要量未満なら低用量、推奨量をやや超えた程度くらいまでなら中用量、推奨量を大きく超えて UL に近ければ高用量と呼んでもいいでしょう。

事務局より：

銅の摂取量について、「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」における平均的な摂取量や推奨量、耐容上限量と比較した際の用量を脚注にそれぞれ記載いたしましたので、記載をご確認ください。

松井専門参考人：

脚注 27 について、男性の試験なので、女性のデータは不要でしょう。他では推奨量を基準に使っているので、推奨量との比較も行う方が良いでしょう。摂取基準における銅摂取量は旧版の国民健康栄養調査からの引用ですが、本評価書案では他所で、より新しい令和 5 年の国民健康・栄養調査での銅摂取量を引用しているので、ここでもこれを引用した方が良いでしょう。（本評価書案 P124）「令和 5 年国民健康・栄養調査の結果」によれば、食事から摂取される銅の一日摂取量の平均値は、20 歳以上で 1.10 mg/人/日（男性 1.18 mg/人/日、女性 1.039 mg/人/日）であるとされている。（参照 122）【追 17】）ついでに P124 は「令和 5 年国民健康・栄養調査の結果」だと思います。担当の先生にご確認ください。

⑥ 吸収、排泄（ヒト）（Turnlund ら（1989）の脚注については以下の通り。

銅摂取量：1.68 mg/人/日の脚注について

脚注 27：「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」では、成人男性の銅の推奨量は 0.8～0.9 mg/人とされており、この量は銅の推奨量の約 2 倍である（参照 5）【追 1】。また、「令和 5 年国民健康・栄養調査」では、成人男性の銅の平均的な摂取量は 1.18 ± 0.42 1.24 ± 0.44 mg/人/日（男性） 1.07 ± 0.39 mg/人/日（女性）とされており、この量は日本人の平均的な摂取量に近い。（参照 122）【追 17】

銅摂取量：0.785 mg/人/日の脚注について

脚注 28 について、成人男性の試験ですので、子供まで含めた推奨量は基準になりません。

脚注 28：「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」では、成人男性の銅の推奨量は性別及び年齢によって異なるが、 $0.30.8 \sim 0.9$ mg/人/日とされており、この量は推奨量を若干下回るの範囲内である。（参照 5）【追 1】

銅摂取量：7.53 mg/人/日の脚注について

脚注 29 について耐容上限量を上回る試験は実施の問題ありですので、IOM における基準（本評価書案 P14）も転記しています。

Turnlund らはアメリカ、Harvey らはイギリスでの試験だと思います。IOM（2001）では成人男性の銅摂取量の中央値は 1.6 mg/day、19-50 歳の男性におけ

る銅要求量は 0.7mg/d、推奨量は 0.9 mg/d、日本人の食事摂取基準と大きな差はなく、日本人の食事摂取基準の参照で良いでしょう。

アメリカでの 19 歳以上の耐容上限量は 10 mg/d です。耐容上限量は日本の摂取基準の方がやや低いです。IOM も日本の食事摂取基準も Pratt ら (1985) の 1 日あたり 10 mg を NOAEL にしていますが、IOM は UF を 1、食事摂取基準では不確実性因子を 1.5 にしているためです。

脚注 29「日本人の食事摂取基準 (2025 年版)」では、銅の耐容上限量は 18 歳以上の男女一律で 7 mg/人/日とされており、この量は上限量に近いが、を若干上回るが (参照 5) 【追 1】、アメリカ・カナダの成人における銅の UL (10 mg/人/日) を下回る (参照 30) 【25】

⑦の知見 (Turnlund ら (1998)) の脚注については以下の通り。

銅摂取量 : 0.66 mg/人/日の脚注について、

(銅摂取量 : 0.66 mg/人/日) についている脚注について、成人男性の推奨量である 0.8-0.9 を参照すべきでしょう。

脚注 33「日本人の食事摂取基準 (2025 年版)」では、成人男性の銅の推奨量は性別及び年齢によって異なるが、0.30.8~0.9 mg/人/日とされており、この量は推奨量の 80%を下回る推奨量の範囲内である。(参照 5) 【追 1】

(銅摂取量 : 0.38 mg/人/日) の脚注についても同様。

脚注 34「日本人の食事摂取基準 (2025 年版)」では、成人男性の銅の推奨量は性別及び年齢によって異なるが、0.30.8~0.9 mg/人/日とされており、この量は推奨量の 50%を下回る推奨量の範囲内である。(参照 5) 【追 1】

(銅摂取量 : 2.49 mg/人/日) の脚注について、男性の試験なので、女性のデータは不要でしょう。他では推奨量を基準に使っているので、推奨量との比較も行う方が良いでしょう。

脚注 35「日本人の食事摂取基準 (2025 年版)」では、成人男性の銅の推奨量は 0.8~0.9 mg/人とされており、この量は銅の推奨量の約 3 倍である (参照 5) 【追 1】。また、「令和 5 年国民健康・栄養調査」では、成人男性の銅の平均的な摂取量は 1.18 ± 0.42 mg/人/日とされており、この量は日本人の平均的な摂取量より高い。(参照 122) 【追 17】

⑧の知見 (Harvey ら (2003)) の脚注については以下の通り。

各容量に脚注を追記し、6.0 mg/人/日は下記の脚注を追記。

脚注 39「日本人の食事摂取基準 (2025 年版)」では、成人男性の銅の推奨量は 0.8~0.9 mg/人、耐容上限量は 18 歳以上の男女一律で 7 mg/人/日とされており、こ

の量は銅の推奨量の約 7 倍であるが、上限量を下回る（参照 5）【追 1】。

⑨の知見（Turnlund ら（2005））の銅摂取量（7.8 mg/人/日）及び⑩の知見（Turnlund ら（1990））の銅摂取量（7.53 mg/人/日）の脚注について脚注 29 は 7.53 mg/d であり、これらとはほぼ同じであり、以下の通り。

脚注番号をから 41 から 29 に変更でよいと思います。

⑨の知見（Turnlund ら（2005））のサプリメントからの銅摂取量（7 mg/人/日）については以下のとおり。

丁寧に説明した方が良いでしょう。実際の摂取量は通常の食事由来の銅摂取が不明ですので、分かりません。

脚注 44 「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」では、銅の耐容上限量は 18 歳以上で 7 mg/人/日とされており、このサプリメントからの補給量は上限量なので、食事からの摂取量を加えると上限量を上回る（参照 5）【追 1】。

吸収、排泄（ヒト）（van Ravesteyn（1944））の脚注 23 では、「18 歳以上の男女一律で」が削除されていますが、「男性では」と記述するのもおかしいですので、元に戻してください。または「成人では」でも可です。

事務局より：

ご指摘を踏まえて、記載を修正いたしました。

⑥ 吸収、排泄（ヒト）（Turnlund ら（1989）；OECD（2014）及び EFSA（2015、2023）にて引用）

米国において、健常成人（男性 112 名、年齢：22～35 歳、実験 1 日目の体重：71±3 kg²⁶、実験 91 日目の体重：73±3 kg）に硫酸銅溶液（詳細不明）で調製した中用量銅含有食（銅摂取量²⁷：1.68 mg/人/日²⁷）を 24 日間（期間 1）、次に低用量銅含有食（銅摂取量：0.785 mg/人/日²⁸）を 42 日間（期間 2）、さらに高用量銅含有食（銅摂取量：7.53 mg/人/日²⁹）を 24 日間（期間 3）摂取させ、また、銅の吸収量を測定するために ⁶⁵Cu（酸化銅（Ⅱ））を塩

²⁶ 平均±標準誤差

²⁷ 「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」では、成人男性の銅の推奨量は 0.8～0.9 mg/人とされており、この量は銅の推奨量の約 2 倍である（参照 5）【追 1】。また、「令和 5 年国民健康・栄養調査」では、成人男性の銅の平均的な摂取量は 1.18±0.42~~1.24±0.44~~ mg/人/日（男性）1.07±0.39 mg/人/日（女性）とされており、この量は日本人の平均的な摂取量に近い。（参照 122）【追 17】

²⁸ 「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」では、成人男性の銅の推奨量は性別及び年齢によって異なるが、0.30.8～0.9 mg/人/日とされており、この量は推奨量を若干下回るの範囲内である。（参照 5）【追 1】

²⁹ 「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」では、銅の耐容上限量は 18 歳以上の男女一律で 7 mg/人/日とされており、この量は上限量に近いに近いが、を若干上回るが（参照 5）【追 1】、アメリカ・カナダの成人における銅の UL（10 mg/人/日）を下回る（参照 30）【25】

酸溶液に溶解し硫酸銅溶液の代わりに用いて調製した ^{65}Cu 標識食を期間 1 の 13 日目、期間 2 の 7 及び 8 日目並びに 31 及び 32 日目、期間 3 の 13 日目に摂取させ、銅と ^{65}Cu を測定した。また、非吸収性の糞中マーカであるポリエチレングリコールを ^{65}Cu 標識食とともに給与した。

銅の内因性の糞便中内因性排泄への損失量は、期間 1 と期間 3 は最後の 18 日間、期間 2 は最後の 36 日間について求めた。ほとんどの被験者の糞便中ポリエチレングリコールレベルが銅含有食の摂取から 12 日後にはベースラインレベルになったことから、摂取後 12 日からの検体を測定に使用した。一方、試験を通して出納バランスを算出した。

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

酸化銅 (II) は水に不溶で、吸収率は極めて低いです。塩酸に溶解した段階で酸化銅ではなくと思います。おそらく塩化銅になると考えて良いでしょうが、案→酸化銅 (II) を塩酸溶液に溶解し調製した ^{65}Cu 液

他では分析法がされていないので、特別に示す必要がある場合を除き分析法は不要でしょう。以上はヒト知見 (表を含め) でも同様です。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

The PEG levels in the samples of most subjects had returned to base-line levels 12 d after the feedings. Therefore, samples from the 12 d after each feeding were combined for ^{65}Cu determinations

これがこの試験の重要な点です。PEG 排泄データ (^{65}Cu の消化管通過の指標) を用い経口投与し吸収されなかった ^{65}Cu を完全に回収し、経口投与し吸収され内因性排泄された ^{65}Cu を最小限に抑えることで「吸収されなかった ^{65}Cu (脚注 27)」を推計していると思います。糞便中 ^{65}Cu には吸収されなかった画分と内因性排泄された画分が含まれますが、著者らは、吸収された ^{65}Cu は体内で希釈され、長時間かけて内因性排泄されるので、PEG 排泄データを用いることで得られた短期間の糞便中 ^{65}Cu には内因性排泄は多くなく、内因性排泄としての ^{65}Cu 回収率は低く、 ^{65}Cu の見かけの吸収率は真の吸収率に近似していると考えていることが推察されます。

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を追記いたしました。

松井専門委員：

EFSA (2015/2023) はバランスへの言及です。EFSA (2015/2023) 削除なら図と内容を含め不要になります。

事務局より：

EFSA は下述しておりますので、図と内容については削除せず記載を残させていただきます。

吉田専門委員：

本文の記載修正案：

銅摂取量が一般米国人成人の銅摂取量に近い 1.68 mg/人/日になる中用量銅含有食銅食を 24 日間（期間 1）、次に銅摂取量が米国人の推奨量を下回る 0.785 mg/人/日になる低用量銅含有食銅食を 42 日間（期間 2）、さらに銅摂取量が推奨量の数倍である 7.53 mg/人/日になる高用量銅含有食銅食²⁴を～

松井専門参考人：

原案の「調製した銅食」では意味不明です。銅水準を低中高で示すことは分かりやすいですが、例えば各知見の低水準銅摂取の場合、0.38～1.6mg/人/日、高水準銅摂取の場合、2.49～7.8 mg/人/日と大きく異なっており、誤解しやすくなるので低・中・高量銅食は使いにくいです。試験期間のみでも良いのですが、脚注があるので、いずれも「試験食」で良いと思います。

なお、(a) 介入研究試験 (Turnlund ら (1990) では銅食となっています。

(b) 介入研究 (Baker ら (1999)) では中等量 (銅として 1.6 mg/日 27)、低量 (0.7 mg/日 28、26 低量銅食のみ)、高量 (6.0 mg/日 29) となっており、1.6 mg/日は推奨量の 2 倍です。ご対応はお任せします。

事務局より：

過去の評価である添加物「硫酸銅」では、「銅含有食」とされておりましたので、そのように戻すのはいかがでしょうか。

松井専門参考人：

とりあえず、前例とのことです。銅含有飼料/銅含有食で問題ありません。飼料や食事（欠乏飼料でも）は銅を必ず含有していますので、銅含有飼料/同含有食は意味がないとは思いますが、それは試験飼料/食でも同じことです。

事務局より：

承知いたしました。ご指摘の通り修正いたしました。

1
2 給与した ⁶⁵Cu の見かけの吸収率³⁰及び銅の内因性の糞便中内因性排泄への
3 損失量³¹は、表 15 のとおりであった。⁶⁵Cu の見かけの吸収率は銅摂取量の影
4 響を受けた。一方、銅摂取量が高い期間における糞便中の銅の分散がその他
5 の期間よりも大きかったため、銅の内因性の糞便中内因性への損失排泄量の
6 統計検定は行わなかった。

7 図 3 で示すように、1.68 mg/人/日の銅中用量銅食を摂取した期間 1 の最初
8 の 6 日間の平均収支バランスはやや高く、その後徐々に低下し、0 に近づい
9 た。0.785 mg/人/日の銅低用量銅食を摂取した期間 2 の最初の収支バランス

³⁰ ⁶⁵Cu の吸収量＝摂取された ⁶⁵Cu の量－⁶⁵Cu 摂取後の糞便中の ⁶⁵Cu の量

³¹ 吸収されなかった食事性銅（全食事性銅に吸収されなかった ⁶⁵Cu の割合を乗じたもの）を糞便中の銅量から差し引いて算出した。

は 0 を下回っていたが、その後は 0 を若干上回り維持されたこと、7.53 mg/人/日の銅高用量銅食を摂取した期間 3 最初 6 日間の収支バランスは著しく高かったが、その後低下し、試験終了時には半数の被験者では 0 を上回っていたが、他の半数の被験者では 0 を大きく下回っており、平均としては 0 を大きく下回った。

Turnlund ら (1989) は、銅の吸収率は食事中的銅摂取量に依存し、銅摂取量が多くなるほど、吸収率が低下したとしている。また、銅摂取量が多くなるほど、銅の内因性損失量が増加するとしている。さらに、食事中的銅含有量が比較的少ない場合、吸収がおそらく最も重要なコントロールポイントであることを示唆しており、摂取量が少なく、内因性損失が減少すると、吸収される割合が著しく増加し、また、食事中的銅含有量が高い場合は、吸収率が低下しても過剰な銅の吸収を完全に防ぐことはできず、この過剰な銅は内因性損失が増加することによって除去されるとしている。また、1.68 mg/人/日の銅を摂取した期間の当初は収支バランスがやや高く、その後徐々に低下したことから、被験者の日常的な銅摂取量は 1.68 mg/人/日を下回っていると推察している。また、7.53 mg/人/日の銅摂取を行った期間の当初の収支バランスは著しく高かったが、以降は平均としては 0 を大きく下回ったことから、この期の前半に蓄積された銅の多くが、後半では恒常性機能によって糞中に排泄された、すなわち内因性の銅の糞便中内因性への損失排泄が増加したためであるとしている。(参照 47) 【57 (硫酸銅 50)】

表 15 ^{65}Cu の見かけの吸収率及び銅の内因性の糞便中内因性への損失排泄量

	期間 1	期間 2		期間 3
		初期	後期	
銅摂取量 (mg/人/日)	1.68	0.785		7.53
^{65}Cu の見かけの吸収率 (%) ¹⁾	36.3±1.3	56.2±1.1	55.0±1.5	12.4±0.9
銅の内因性の糞便中内因性への損失排泄量 (mg)	0.61	0.36	0.33	0.97

平均値±標準誤差。

1) ^{65}Cu の見かけの吸収率は銅摂取量の影響を受けた ($p<0.0001$)。

図 3 銅摂取量に伴う銅の出納バランスの変化

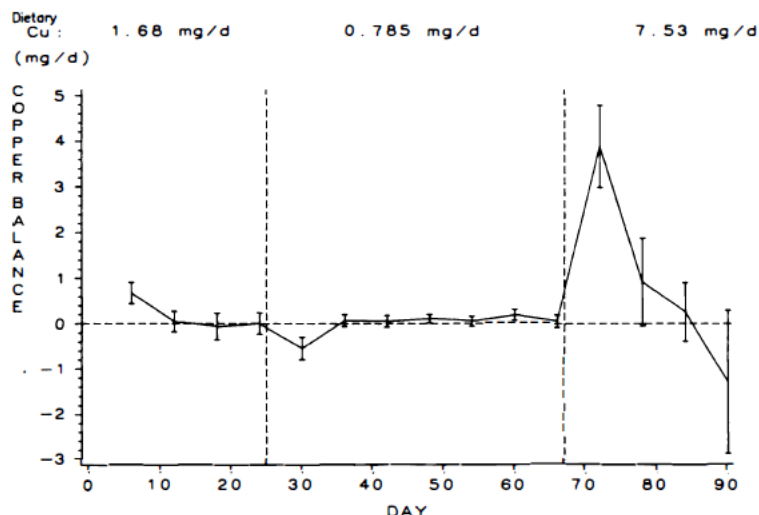


FIG 3. Cu balance (mg/d) throughout the study. Error bars represent ± 2 SEM. Vertical lines show the beginning of each MP.

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

本文中に ANOVA 等の統計検定の結果が示されていますので記載すべきでしょう。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

「統計解析については...SEM を現した。」は不要でしょう。以下を提案します。

銅の見かけの吸収率³⁰及び銅の内因性の糞便中への損失量³¹は、表 15 のとおりであった。銅の見かけの吸収率は銅摂取量の影響を受けた ($p < 0.0001$)。一方、銅摂取量が高い期間における糞便中の銅の分散がその他の期間よりも大きかったため、銅の内因性の糞便中への損失量の統計検定は行わなかった。

事務局より：

ご提案いただきました記載に修正いたしました。

[第 22 回 WG の記載]

松井専門委員：

ANOVA の結果ですので、P 値を含め表中または表の脚注に示してください。ANOVA のデータの表記はこうに統一

事務局より：

ご指摘を踏まえて、記載を修正いたしました。

OECD (2014) は、Turnlund ら (1989) は重要な研究であり、この研究結果から、吸収が銅の調節の初期段階であることが示唆されたとしている。
(参照 42) 【追 2 (硫酸銅 46)】

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

この試験は ⁶⁵Cu の見かけの吸収率を示したものであり、銅の見かけの吸収率を示してい

ないと思います。

OECD (2014) はこの試験で「信頼できる銅の見かけの吸収率を報告した」としていますが、ここは削除で良いと思います。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

EFSA (2015) は、欧州食品科学委員会 (SCF) (1993) が 0.79 mg/人/日を 42 日間摂取した男性でも銅の状態が低下しなかった Turnlund ら (1989) の研究に基づき、平均必要量 (0.8 mg/人/日) を設定したことに言及している。
(参照 48) 【58 (硫酸銅 51)】

また、EFSA (2023) では、当該報告の結果について、期間 3 の高用量摂取後の銅の収支バランスは平均では負であったが、被験者の半数は依然として正の収支バランスを保っていたとし、銅の高用量摂取に対する適応には個人差があるとしている。(参照 33) 【21】

⑦ 吸収、排泄(ヒト)(Turnlund ら (1998); OECD (2014) 及び EFSA (2015、2023) にて引用)

米国において、健常成人 (男性 12 名、年齢：26±4 歳³²、体重：試験開始時 74.3±8.2 kg、試験終了時 74.1±7.9 kg、1 名脱落) に、硫酸銅 (詳細不明) で調製した銅含有食 (銅摂取量³³：0.66 mg/人/日³³) を 24 日間 (期間 1)、次に銅含有食 (銅摂取量：0.38 mg/人/日³⁴) を 42 日間 (期間 2)、さらに、銅含有食 (銅摂取量：2.49 mg/人/日³⁵) を 24 日間 (期間 3) 摂取させ、また、試験期間中に、5 名には酸化銅 (II) を塩酸溶液で溶解した ⁶⁵Cu を含む飲料水を計 4 回摂取させ、別の 6 名には酸化銅 (II) を塩酸溶液で溶解した ⁶⁵Cu を計 3 回静脈内投与し、その後 12 日間の糞便中の銅と ⁶⁵Cu を測定する試験を実施している。

その結果、各期間での銅の見かけの吸収率及び真の吸収率³⁶並びに ⁶⁵Cu の糞便中の排泄率³⁷は、表 16 のとおりであり、Turnlund ら (1998) は、銅の

³² 平均±標準偏差

³³ 日本人の食事摂取基準 (2025 年版) では、成人男性の銅の推奨量は 0.8~0.9 mg/人/日とされており、この量は推奨量の 80%を下回る。(参照 5) 【追 1】

³⁴ 日本人の食事摂取基準 (2025 年版) では、成人男性の銅の推奨量は 0.8~0.9 mg/人/日とされており、この量は推奨量の 50%を下回る。(参照 5) 【追 1】

³⁵ 「日本人の食事摂取基準 (2025 年版)」では、成人男性の銅の推奨量は 0.8~0.9 mg/人とされており、この量は銅の推奨量の約 3 倍である (参照 5) 【追 1】。また、「令和 5 年国民健康・栄養調査」では、成人男性の銅の平均的な摂取量は 1.18±0.42 mg/人/日とされており、この量は日本人の平均的な摂取量より高い。(参照 122) 【追 17】

³⁶ 真の平均吸収率は、経口摂取した ⁶⁵Cu の平均吸収率を静脈内投与した ⁶⁵Cu の平均排泄率で補正して推定した。

³⁷ 静脈内投与後 12 日間に排泄された ⁶⁵Cu の投与量に対する割合。

摂取量が多いほど糞便中の⁶⁵Cu 糞便中の内因性排泄率が高くなるとしている。また、試験結果は、銅の内因性糞便中内因性排泄が、体内の銅の貯蔵量を調節する主要なポイントであることを示唆しているが、この調節は、銅の最低摂取量である 0.38 mg/人/日では、銅の状態を維持するのに十分ではなかったとしている。（参照49）【59（硫酸銅 52）】

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

トレーサー液と分析法に関しては前にコメント済

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

表 16 銅の見かけの吸収率及び真の吸収率並びに ⁶⁵Cu の糞便中の排泄率

	期間 1	期間 2	期間 3	標準誤差
銅の摂取量 (mg/人/日)	0.66	0.38	2.49	
⁶⁵ Cu の見かけの吸収率 (n=4) (%)	54 ^a	67 ^b	44 ^a	3.2
⁶⁵ Cu の糞便中の排泄率 (n=6) (%)	26 ^a	12 ^b	34 ^a	3.8
銅の真の吸収率 (n=4) (%)	73	77	66	
銅の出納バランス (mg/人/日)	-0.13 ^a	-0.015 ^b	511 ^c	39

平均値。

a, b : 同じ行の異なる上付き文字間で有意差あり (p < 0.05)

⑧ 吸収、排泄（ヒト）(Harvey ら (2003) ; OECD (2014) 及び EFSA (2015、2023) にて引用)

英国において、健康成人（男性 12 名、年齢：32±11 歳³⁸、体重：78.4±9.3 kg）に、硫酸銅（詳細不明）で調製した食事（銅摂取量³⁹：0.7²⁸、1.6²⁷ 及び 6.0³⁹ mg/人/日）を 8 週間、42 日目には ⁶⁵Cu（塩化銅（II））を単回経口摂取させ、銅の吸収率及び銅の内因性損失量を算出する試験を実施している。糞便は ⁶⁵Cu（塩化銅（II））摂取後、約 14 日間採取し、非標識銅及び ⁶⁵Cu の糞便中への排泄量を測定した。

³⁸ 平均±標準偏差

³⁹ 「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」では、成人男性の銅の推奨量は 0.8～0.9 mg/人、耐容上限量は 18 歳以上の男女一律で 7 mg/人/日とされており、この量は銅の推奨量の約 7 倍であるが、上限量を下回る。（参照 5）【追 1】

その結果、 ^{65}Cu の見かけの吸収率⁴⁰及び銅の真の吸収率⁴¹並びに銅の内因性損失量⁴²は表 17 のとおりであり、銅の吸収率については、投与量による有意差は認められなかったが、銅の内因性損失量は、高用量銅含有食銅摂取量が 6.0 mg/人/日³⁹ の場合では、低用量銅含有食 0.7 mg/人/日²⁸ 及び 中用量銅含有食 1.6 mg/人/日²⁷ の場合と比較して、多かった。（参照50）【61（硫酸銅 54）】

松井専門参考人：

銅含有食は不要でしょう。

銅摂取量が 6.0 mg/人/日 36) では、0.7 mg/人/日 28) 及び 1.6 mg/日 27) の場合と比較して多かった。

また、表 17 の 2) も低、中、高用量は使いません。

2) 銅として 6.0 mg/人/日の銅摂取時の銅の内因性損失量は 0.7 mg/人/日及び 1.6 mg/日摂取時と比較して多かった ($P<0.05$)。

横田専門参考人：

6.0 mg/人/日に脚注がついていないようです。

事務局より：

ご指摘の通り修正・追記いたしました。

表 17 ^{65}Cu の見かけの吸収率及び真の吸収率並びに非標識銅の内因性損失量¹⁾

銅摂取量 (mg/人/日)	0.7 ~~-(低用量)~~	1.6 ~~-(中用量)~~	6.0 ~~-(高用量)~~
^{65}Cu の見かけの吸収率 (%)	41±12	42±15	45±13
^{65}Cu の見かけの吸収量 (mg/人/日)	1.23±0.35	1.27±0.44	1.34±0.38
^{65}Cu の真の吸収率 (%)	48±13	45±14	48±11
^{65}Cu の真の吸収量 (mg/人/日)	1.45±0.39	1.36±0.41	1.45±0.33
^{65}Cu の内因性損失排泄量 ²⁾ (%)	30±15	38±20	40±11
^{65}Cu の内因性損失排泄量 ²⁾ (mg/人/日)	0.40±0.10	0.48±0.22	0.58±0.17

平均値±標準偏差

1) 経口投与した 3 mg の ^{65}Cu を基に算出

2) 高用量銅含有食銅として 6.0 mg/人/日の銅摂取時の銅の内因性損失量は、低用量銅含有食 0.7 mg/人/日及び 中用量銅含有食 1.6 mg/人/日摂取時の場合と比較して多かった ($P<0.05$)。

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

⁴⁰ ^{65}Cu の見かけの吸収率 = (^{65}Cu の投与量 - 糞便中 ^{65}Cu 量) / ^{65}Cu の投与量

⁴¹ 銅の真の吸収率 = (^{65}Cu の投与量 - 糞便中 ^{65}Cu 量 + ^{65}Cu の内因性損失量) / ^{65}Cu の投与量

⁴² 銅の内因性損失排泄量 = 糞便中銅量 - 銅の摂取量 + (銅の摂取量 × 吸収された ^{65}Cu 量) / ^{65}Cu の投与量

表中データですが、すべて%と mg/日を示した方が良いと思います。内因性損失量を%表記するなら、摂取量当たりであることを明示。

表と本文で、非標識銅は不要でしょう。非標識銅のみの値ではありません。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

銅の内因性損失量の%については文献にて確認ができず、追記しておりません。

松井専門委員：

確認しました。

銅の見かけの吸収率（mg/日）、銅の真の吸収率（mg/日）は吸収量に修正してください。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

【第 22 回 WG の記載】

松井専門委員：

表 16 の銅の内因性損失量注 2（mg/日）は原著 Table2 のデータですね？

原著 Table 6.のデータに差し替え

Dietary Cu intake (mg/d)...	n	6.0		1.6		0.7	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Endogenous loss of label†							
%	6	40	11	38	20	30	15
mg		0.58	0.17	0.48	0.22	0.40	0.10

* For details of subjects and procedures, see Table 1 and p. 162.

† Absorbed label excreted within 14 d of dose administration.

事務局より：

ご指摘を踏まえ、表中のデータ・記載を修正いたしました。

OECD（2014）は、Harvey ら（2003）の試験について、銅の摂取量が見かけ及び真の吸収率に有意な影響を及ぼさなかったことや、各用量における見かけの吸収率と真の吸収率の値が類似していたことは、Turnlund ら（1989、1998、2005）の知見や動物実験データ（Van den Berg ら（1994））と矛盾⁴³すると指摘している。（参照 42）【追 2（硫酸銅 46）】

EFSA（2015）は、Harvey ら（2003）の試験を含む成人を対象とした研究結果を踏まえ、混合食からの銅の吸収率は約 50%と考えている。また、Harvey ら（2003）の試験については、尿中、汗中、経皮での損失が測定されていないことを指摘している。（参照 48）【58（硫酸銅 51）】

さらに、EFSA（2023）において、銅の内因性損失は、経口投与された ⁶⁵Cu の排泄時間プロファイルに基づいて計算されたもので、静脈投与されたものではないことから、これらの値は Turnlund ら（1998）の報告にある値と直

⁴³ Turnlund（1989、1998、2005）では、真の吸収率について有意な変化は認められていない。

接比較できないとしている。（参照 33）【21】

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

Turnlund らの報告は 3 報あり、Turnlund ら（1989）は Harvey ら（2003）と同じ経口投与のみの試験だと思います。ここでは Turnlund らの報告の出版年は未記載ですが、文脈からは Turnlund ら（1998）だと判断できます。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

⑨ 吸収、排泄（ヒト）（Turnlund ら（2005）；OECD（2014）及び EFSA（2015、2023）にて引用）

米国において、健常成人（男性 9 名、年齢範囲：26～49 歳、平均体重：74 kg（期間 1）、76 kg（期間 2））に、銅として 1.6 mg/人/日²⁷を含む食事を 18 日間摂取させる試験（期間 1）を実施し、その後、通常の食事及び銅として 7 mg/人/日⁴⁴を含む銅サプリメント（硫酸銅（詳細不明）で調製）を 129 日間摂取させ、さらにその後、銅として計 7.8 mg/人/日²⁹の摂取となるように銅として 1.6 mg/人/日含有の食事及び銅として 6.2 mg/人/日を含む銅サプリメント（硫酸銅（詳細不明）で調製）を 18 日間摂取させる試験（期間 2）を実施している。

各期間の 7 日目に被験者 3 人に Turnlund ら（1998）と同様に塩酸溶液に溶解した ⁶³Cu（酸化銅（II））を含む飲料を摂取させ、他の 6 人には塩酸溶液で溶解した ⁶³Cu を静脈内投与し、各期間を通じて尿と糞便を採取して ⁶³Cu と銅を測定し、Turnlund ら（1998）方法に従って、糞便中の銅と ⁶³Cu から、吸収、排泄、保留量、内因性糞便中内因性排泄を求めた。

その結果、銅の尿中及び糞便中への排泄量、⁶³Cu の尿中及び糞便中への累計排泄率並びに銅の見かけの吸収率及び真の吸収率は表 18 のとおりであった。銅の尿中及び糞便中への排泄量並びに ⁶³Cu の糞便中への累計排泄率については、期間 1 と比較して期間 2 が高く、一方 ⁶³Cu の尿中への累計排泄率については、期間 1 と比較して期間 2 が低かった。（参照 51）【62（硫酸銅 55）】

表 18 銅の尿中及び糞便中への排泄量、⁶³Cu の尿中及び糞便中への累計排泄率並びに銅の見かけの吸収率及び真の吸収率⁴⁵

⁴⁴ 「日本人の食事摂取基準（2025 年版）」では、銅の耐容上限量は 18 歳以上の男女一律で 7 mg/人/日とされており、このサプリメントからの補給量は上限量なので、食事からの摂取量を加えると上限量を上回るこの量は上限量より高い。（参照 5）【追 1】

⁴⁵ 平均値

	期間 1	期間 2	標準誤差
銅摂取量 (mg/人/日)	1.6	7.8	
銅の尿中への排泄量 ¹⁾ (μg/人/日)	20	26*	0.9
銅の糞便中への排泄量 ¹⁾ (mg/人/日)	1.6	7.1*	0.1
⁶³ Cu の尿中への累計排泄率 ²⁾ (%)	2.1	1.3*	0.14
⁶³ Cu の糞便中への累計排泄率 ²⁾ (%)	27	46*	2.3
銅の見かけの吸収率 ³⁾ (%)	29	16*	1.0
銅の真の吸収率 ⁴⁾ (%)	40	29	—
銅の保留量 ⁵⁾ (mg/d)	0.06	0.67	0.27

* : 期間 1 との間に有意差あり (p<0.05)。

1) 各期間の 7 日目以降の 12 日間における一日当たりの銅の平均排泄量 (n=9)。

2) 静脈内投与から 12 日間での ⁶³Cu の平均累計排泄率 (n=6)。

3) 内因性排泄の補正前 (n=3)。

4) 静脈内投与した ⁶³Cu の平均排泄量で補正した ⁶³Cu の吸収。

5) 各期間の 7 日目以降の 12 日間における銅の平均保留量 (n=9)

【第 21 回 WG の記載】

松井専門委員：

分析方法は削除

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

松井専門委員：

確認しました。

OECD (2014) は、Turnlund ら (2005) が、尿などの排泄経路は、ヒトにおける銅のマイナーな排泄経路であると指摘していると報告しており、胆道からの排泄とそれに続く糞便への排泄が、ヒトと動物における銅の主な排泄経路であるとしている。(参照 42) 【追 2 (硫酸銅 46)】

EFSA (2015) は、Turnlund ら (2005) の研究が汗や経皮による損失を考慮していないことを指摘している。また、Turnlund ら (2005) 等の研究結果を踏まえ、尿中の銅は、食事による銅の摂取量にほとんど影響されず、11 μg/日から 60 μg/日までの範囲であるとしている。(参照 48) 【58 (硫酸銅 51)】

また、EFSA (2023) では、銅の排泄は高用量摂取(期間 2)で有意に高かったが、摂取期間終了時の銅保留量は期間 1 終了時よりも依然として高かつ

たこと（総合的な収支バランスはポジティブ）に言及している。（参照 33）
【21】

⑩ 吸収、代謝、排泄（ヒト）（Harvey ら（2005）； OECD（2014）及び EFSA（2015）にて引用）

英国において、健常成人（男性 6 名、年齢範囲：34～57 歳）に ^{65}Cu （塩化銅（II））を静脈内投与し、糞便を 14 日間採取した。さらに、4 週間後、 ^{65}Cu （塩化銅（II））を経口投与し、血液を 7 日間、糞便を 14 日間採取する試験を実施している。銅の代謝の解析のために図 3 の通りコンパートメントモデルが使用されている。このモデルでは、血漿中の銅の分布は 99%がコンパートメント 5（セルロプラスミンと結合した銅）、1%がコンパートメント 2（directly reacting copper）にあると推定された。また、本研究におけるセルロプラスミン銅の半減期は 27 日と推定され、加えて、directly reacting copper の半減期は 60 分と推定された。

銅の見かけの吸収率は $33\pm 3\%$ ⁴⁶であった。また、静脈内投与した場合の銅の排泄量で補正し算出した銅の真の吸収率は $48\pm 5\%$ 、経口摂取した場合の銅の排泄量で補正し算出した銅の真の吸収率は $49\pm 4\%$ であり、差はなかった。また、静脈内投与の場合の ^{65}Cu の排泄率は 32%、経口投与後に吸収された ^{65}Cu の排泄率の推定値⁴⁷は 35%であり、差はなかった。さらに、Harvey ら（2005）は、肝初回通過により吸収された銅の約 74%が除去され、その後、80%がセルロプラスミンに結合して血液中に放出され、20%が腸管に再排泄されるとしている。（参照52）【64（硫酸銅 59）】

EFSA（2015）は、Harvey ら（2005）の試験を含む成人を対象とした研究結果を踏まえ、混合食からの銅の真の吸収率は約 50%と考えている。（参照 48）【58（硫酸銅 51）】

図 3 銅代謝におけるコンパートメントモデル

⁴⁶ 平均±標準偏差

⁴⁷ 経口投与量のうち吸収されてから糞便へ排泄された割合

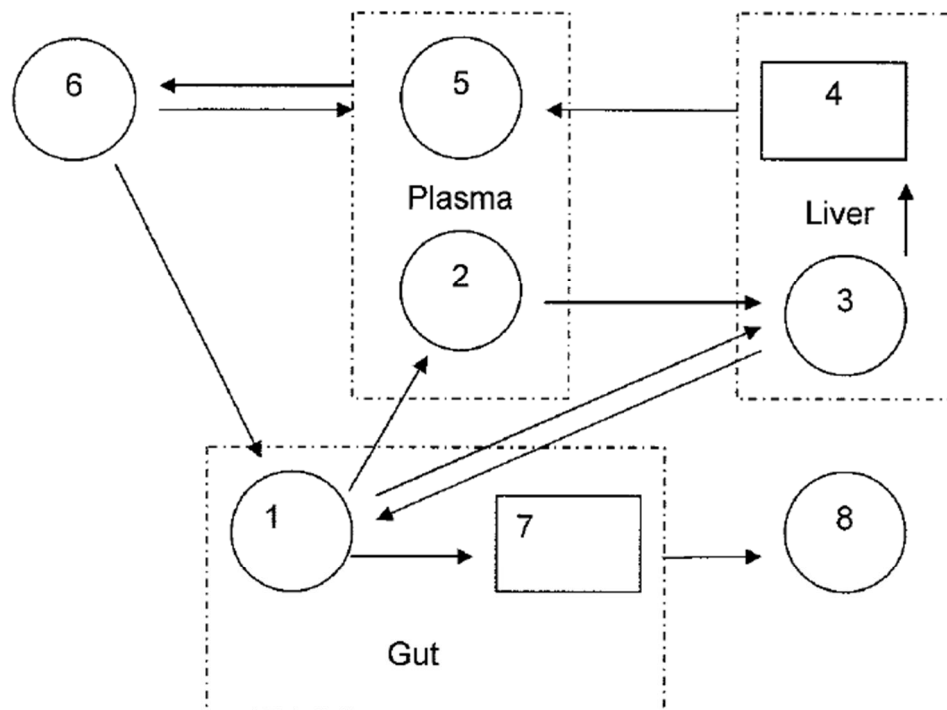


FIGURE 1. Compartmental model of copper metabolism. The circles represent compartments, the rectangles represent delays, and the arrows represent the transfer of copper from one compartment to another.

(参照 52 【64 (硫酸銅 59) 】)

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

キネティックモデルが使われています。説明が必要でしょう。

TABLE 1 を示したらいかがですか？

The model predicted that the distribution of copper in the plasma was 99% in compartment 5 (identified as ceruloplasmin-bound copper) and 1% in compartment 2 (identified as directly reacting copper).,

The half-life ($t_{1/2}$) of ceruloplasmin copper in this study was estimated to be 27 d, which compares well with the value of 20 d that was found in 10 “normal” control subjects in the study The $t_{1/2}$ of the directly reacting copper was estimated to be 60 min, これらも記載した方が良いでしょう。

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を追加いたしました。

⑪ 吸収、排泄（ヒト）(Turnlund ら (1990) ; SCF (2003)、EFSA (2006 及び 2015)、IOM (2001)、OECD (2014) 及び硫酸銅評価書 (2022) にて引用)

米国において、健常成人（男性 12 名、22～35 歳）に、最初の 24 日間は十分量の銅を含む中用量銅含有食（銅摂取量：1.68 mg/人/日²⁷⁾、次の 42 日間は推奨量を若干下回る銅を含む低用量銅含有食（銅摂取量：0.79 mg/人/日²⁸⁾、最後の 24 日間は推奨量の 8 倍程度の銅を含む高用量銅含有食（銅摂取量：7.53 mg/人/日²⁹⁾）を摂取させ、血漿及び尿中の銅濃度を調べる試験が行われている。

1 食事中の銅濃度は、基本食（銅含有量～0.4 mg）に硫酸銅を添加することで調
2 整した。尿は毎日、血液は試験開始時、試験終了時及び 0.79 mg/人/日の低用
3 量銅食摂取期間の中間点で採取した。耳下腺唾液はそれぞれの試験終了時及び
4 0.79 mg/人/日の低用量銅食摂取期間の中間点で 2 時間以上ステンセン管開口
5 部から直接テフロンカップに採取した。

6 その結果、血漿中銅濃度及び尿中銅排泄量は銅の摂取量の影響を受けなかった。
7 また、唾液からの銅分泌は銅摂取量の影響を受けなかった。（参照53）【149（硫
8 酸銅 87）】

[第 22 回 WG の記載]

松井専門委員：

この試験は唾液と汗の銅を調べていることが特徴です。汗はうまくいかなかったとされて
おり削除

耳下腺唾液はそれぞれの試験終了時及び低用量銅食摂取期間の中間点で 2 時間以上ス
テンセン管開口部から直接テフロンカップに採取した。

唾液からの銅分泌は銅摂取量の影響を受けなかった。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、本文を修正いたしました。

9 ⑫ 吸収（ヒト（乳児））（Olivares ら（2002））

10 39 名の健康な乳児（19 人が生後 1 か月、20 人が生後 3 か月）から、ラ
11 ンダムに選定された半数の被験者（生後 1 カ月の被験者は 10 名、生後 3 か
12 月の被験者は 10 名）に対して、硫酸銅液として 80 mg/kg 体重/日の銅を
13 15 日間経口摂取させ、対照群は銅の補給を行わなかった。⁶⁵Cu の銅線を
14 少量の硝酸で溶解し、二回蒸留水で希釈した。試験初日の 2 回目の哺乳直
15 後に、補給群には 200mg、対照群には 30mg の ⁶⁵Cu 液を経口投与した。
16 糞便を採取して ⁶⁵Cu と銅を測定した。銅補給は糞便中の総銅排泄量に影
17 響を及ぼした。一方、⁶⁵Cu のみかけの吸収率は月齢と銅補給の影響を受け
18 なかった。その結果、すべての乳児での ⁶⁵Cu のみかけの吸収率は 46%～
19 95%であった。（参照54）【66】

[第 22 回 WG の記載]

松井専門委員：

⁶⁵Cu 試験です。方法に加えてください

また、銅の摂取量はそう糞便中の銅と相関があったが、⁶⁵Cu の見かけの吸収とは相関が
なかった。

銅補給は糞便中の総銅排泄量に影響を及ぼした。一方、⁶⁵Cu のみかけの吸収率は月齢と
銅補給の影響を受けなかった。その結果、すべての乳児での ⁶⁵Cu のみかけの吸収率 は 46%
～95%であった。（参照 54）【66】

事務局より：

ご指摘を踏まえ、本文を修正いたしました。

20 ⑬ 吸収（ヒト（妊婦））（Turnlund ら（1983））

21 19 歳～31 歳の健康な妊娠期後半の妊婦と非妊婦（妊婦 9 名、非妊婦 5
22 名）について、銅の吸収に係る試験を行った。被験者は、動物性タンパク

1 質食と植物性タンパク質食が7対3の比率になる食事（1.44 mg の銅含有）
2 とその逆の比率の食事（2.53 mg の銅含有）を21日間ずつ摂取した。5名
3 の妊婦を動物性タンパク質食群に、4名の妊婦を動物性タンパク質食群に
4 割り当てた。5名の非妊婦はすべて動物性タンパク質食群と植物性タンパ
5 ク質食群に繰り返し割り当てた。⁶⁵Cu酸化銅を塩酸に溶解後に希釈した。
6 6日目には3 mg の⁶⁵Cuを20 mlの溶液として食事に加えた。

7 その結果、非妊婦における⁶⁵Cuの吸収率は動物性タンパク質食期では
8 41.2%であり、植物性タンパク質食期の33.8%より高かった（0.94、プー
9 ルされた平均の標準誤差）。一方で、妊婦における動物性タンパク質食期の
10 ⁶⁵Cu吸収率は42.2±2.6（プールされた平均の標準誤差%であり、植物性タ
11 ンパク質期の吸収率40.7±2.9（プールされた平均の標準誤差）%と差は見ら
12 れなかった。また、植物性タンパク質食期では、妊婦の方が非妊婦より⁶⁵Cu
13 の吸収量と吸収率が高かった。（参照55）【追14】

【第22回WGの記載】

松井専門委員：

動物性タンパク質では傾向だけとされています。不要でしょう。

Pregnant women also tended to absorb more copper from the animal protein diet than nonpregnant women, 42.2 versus 41.2%, but the difference in absorption was not statistically significant.

書くなら以下でしょう

Both the percentage and the amount of copper absorbed from the plant protein diet were significantly higher ($P < 0.05$) in pregnant than in nonpregnant women,

植物性タンパク質食を摂取している期間では、妊婦の方が非妊婦より⁶⁵Cuの吸収量と吸収率が高かった。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

（4）銅

① 銅のホメオスタシス（総説）（Wijmenga 及び Klomp ら（2004））

銅の経口摂取の許容範囲は、成人で1.3～13 mg/人/日とされている。食事から摂取された銅は、その約15%が各組織に運ばれ、残りの約85%が排泄される。通常の生理状態では、銅の排泄の約98%が胆汁を経由し、尿からはわずか2%しか排泄されないことから、肝臓は胆汁の排泄を調節することで全身の銅の恒常性を保っている臓器であると考えられる。食事から摂取された銅は、上部腸管の粘膜から吸収され、全身に運ばれる。銅は血流に入り、タンパク質（主にセロプラスミン）やアミノ酸と結合する。循環血中に存在する銅の大部分は肝臓に取り込まれる。（参照56）【109（硫酸銅60）】

【第21回WGの記載】

松井専門委員：

Fig1/2で示されるように肝臓からはセロプラスミン結合型が主では？

【第22回WGの記載】

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

② 銅のホメオスタシス（総説）（van den Berghe 及び Klomp（2009））

体内の銅のホメオスタシスを維持するために、銅の取り込み、分布、排泄は厳密に制御されている。食事から摂取された銅は、主に胃及び十二指腸で吸収される。銅は約 4.5mg/日が消化管内に排泄されるが、そのほとんどが膵液（約 2mg/日）及び胆汁（約 2.5mg/日）に含まれており、唾液及び胃液にもわずかに含まれる。銅の取り込みと分布の第Ⅰ段階では、吸収された銅は門脈循環に運ばれ、ほぼ全ての銅が血清タンパク質に結合する。銅の大部分は肝臓に取り込まれ、アポセルロプラスミンに取り込まれる。銅の分布の第Ⅱ段階では、ホロセルロプラスミンが血液中に排泄される。肝細胞内の過剰な銅は、肝臓で銅 ATP アーゼ（ATP7B）を介して胆汁中に分泌される。銅の糞便中への排泄量は、約 0.5～1.5 mg/人/日⁴⁸である。（参照57）【110（硫酸銅 61）】

【第 22 回 WG の記載】

松井専門委員：

111（硫酸銅 62）は Linder 及び Hazegh-Azam（1996）です。これは脚注 44 での引用ですか？参照番号が違います。脚注だけで良く、ここに示す必要はありますか？

事務局より：

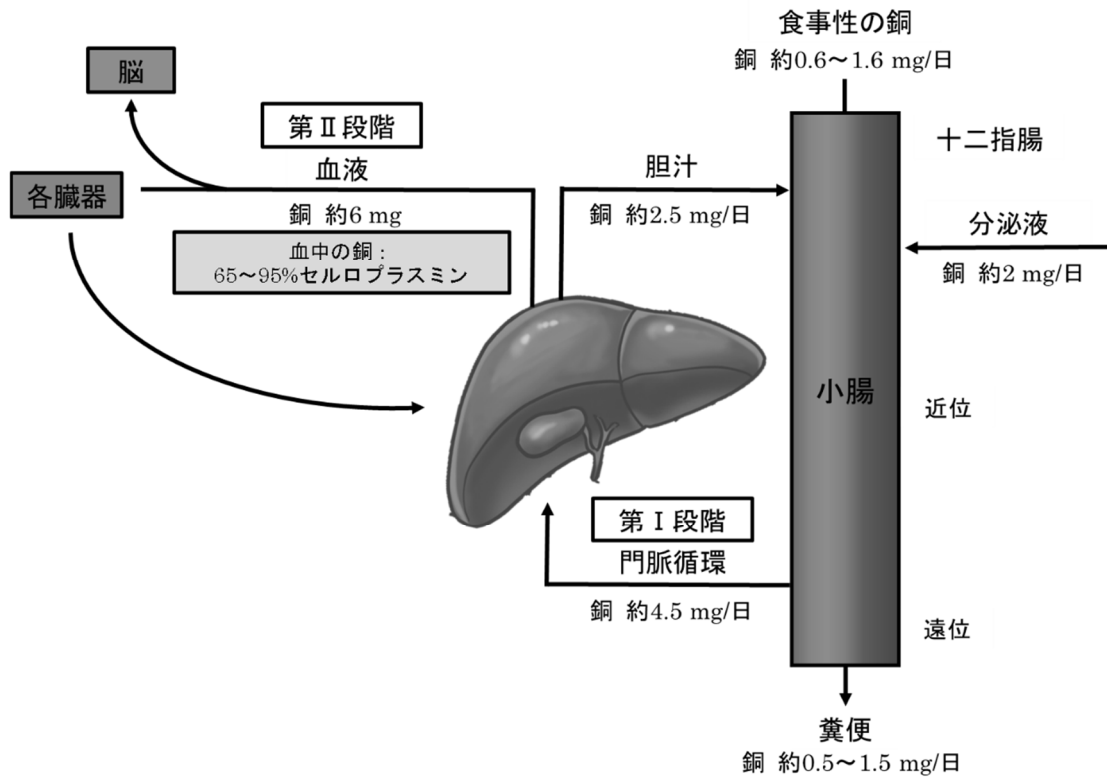
ご指摘の文献は脚注 43 及び 44 での引用です。番号が誤っておりましたので修正いたしました。また、脚注のみに引用いたしました。

松井専門参考人：

脚注 45（原著では、銅の糞便中への排泄量は約 0.5～2.5 mg/人/日と記載されているが、引用元である Linder ら（1996）（参照 58）では、0.5～1.5 mg/人/日と記載されている。）と 46（原著では、食事性の銅は 0.5～2.5 mg/人/日、銅の糞便中への排泄量は 0.5～2.5 mg/人/日と記載されているが、引用元である Linder ら（1996）（参照 58）では、それぞれ 0.6～1.6 mg/人/日、0.5～1.5 mg/人/日と記載されている。）はともに「② 銅のホメオスタシス（総説）（van den Berghe 及び Klomp（2009））」に対するもので、一部重複しています。記述は 46 を採用し、45、46 とともに脚注番号を 45 とする方が良いと思います。

図 4 銅のホメオスタシス

⁴⁸ 原著では、食事性の銅は 0.5～2.5 mg/人/日、銅の糞便中への排泄量は 0.5～2.5 mg/人/日と記載されているが、引用元である Linder ら（1996）（参照 58）では、それぞれ 0.6～1.6 mg/人/日、0.5～1.5 mg/人/日と記載されている。原著では、銅の糞便中への排泄量は約 0.5～2.5 mg/人/日と記載されているが、引用元である Linder ら（1996）（参照 58）では、0.5～1.5 mg/人/日と記載されている。



(参照 57 【110 (硫酸銅61)】 (一部改変) 48⁴⁹⁾

③ 銅のホメオスタシス (総説) (EFSA (2023))

成人の全身の銅のホメオスタシスは、肝胆排泄と腸管吸収によって調節されている。最初のホメオスタシスの反応は、吸収の低下とその後の肝胆排泄の増加である。吸収の低下は、主に粘膜の取り込みキャリア担体のダウンレギュレーションと腸内細胞のメタロチオネインの誘導によって起こり、これにより銅が腸内細胞内で隔離され、銅の門脈循環への転送が減少する。食事の亜鉛は、銅の取り込みのレベルに直接的な影響を与える。亜鉛は銅の輸送と競合し、銅の腸管吸収が減少することが知られている。他の食事要因も銅の吸収に影響を与える可能性がある。吸収低下が経口銅摂取に対する最初のホメオスタシス応答だが、排泄増加がゼロ出納に大きく寄与している。すべての利用可能な証拠から、銅曝露の増加で、銅はメタロチオネインにより肝臓の「貯蔵倉庫」として隔離されることが示唆されている。亜鉛と銅のホメオスタシスはメタロチオネインに収斂し、銅過剰の状態に対して亜鉛が関与したメタロチオネイン誘導が起こり、亜鉛が関与した細胞制御が銅に影響を与える。(参照 33、47、49、59、60、61、62、63、64、65、66) 【21、

⁴⁹⁾ 原著では、食事的銅は 0.5~2.5 mg/人/日、銅の糞便中への排泄量は 0.5~2.5 mg/人/日と記載されているが、引用元である Linder ら (1996) (参照 58) では、それぞれ 0.6~1.6 mg/人/日、0.5~1.5 mg/人/日と記載されている。

57（硫酸銅 50）、59（硫酸銅 52）、65、112、113、114、115、116、117、
118】

④ 分布（総説）（Bost ら（2016））

Bost ら（2016）の総説によると、銅はヒトの体全体に約 110 mg 存在し、
筋肉に約 28 mg、骨に約 46 mg、肝臓に約 10 mg、血漿に約 1 µg/mL の濃度
で分布するとまとめている。（参照67）【50（硫酸銅 63）】

（5）体内動態のまとめ

ラットにおいて異なる水準の銅を摂取した試験では、銅の見かけの吸収率は
42～70%、真の吸収率は 17～48%であり、ほとんどの試験において銅の摂取量
が多くなるほど吸収率は低下し、内因性糞便中内因性排泄損失量は増加した
（Van den Berg（1992）、Beynen（1992）並びに Johnson 及び Lee（1988））。

ヒトにおいて異なる水準の銅を摂取した試験では、見かけの吸収率は 12～
67%、真の吸収率は 29～77%であった（Turnlund（1989）、Turnlund（1998）、
Turnlund（2005）並びに Harvey（2003））。

ヒトでは銅の摂取量が充足水準から増加すると内因性糞便中内因性損失排泄
量は増加した（Turnlund ら（1989）、Harvey ら（2003）、Turnlund ら（2005））。

Johnson 及び Lee（1988）、Turnlund ら（1998）並びに Harvey ら（2003）
の試験の結果から、糞便中内因性排泄が銅の恒常性維持に最も重要であるこ
とが示唆されている。胃及び十二指腸で吸収された銅は、門脈を経て肝臓へ取
り込まれ、多くがセルロプラスミンと結合して血中へ放出される。銅の主な排
泄経路としては、尿中への排泄は少なく、多くが胆汁を介して糞便中に排泄さ
れることが示唆されている。銅の生物学的半減期は、銅の投与量が多くなるほ
ど短くなった。（Johnson 及び Lee（1988）、Van den Berg 及び Beynen
（1992））。銅の分布については、ヒトの体全体に約 110 mg 存在し、筋肉に
約 28 mg、骨に約 46 mg、肝臓に約 10 mg、血漿に約 1 µg/mL の濃度で分布す
るとされている（Bost ら（2016））。Johnson 及び Lee（1988）並びに Van
den Berg 及び Beynen（1992）の試験では、銅の投与量が多くなるほど血漿及
び臓器中の銅量は増加した。

グルコン酸銅 4 mg/人を重度肥満患者に単回経口摂取させ、薬物動態学的解
析を行った試験の結果、ほぼすべての被験者において摂取 1～2 時間の早期に
銅の吸収が起こることが示された（Boullata ら（2017））。一方、グルコン酸
銅 10 mg/人/日を 12 週間投与したヒトにおいて、12 週間後の血清、尿、又は毛
髪中の銅濃度は投与前と差がなかった（Pratt ら（1985））。を投与した知見に
おいて、吸収や排泄に関する知見は確認できなかった。

[第 21 回 WG の記載]
事務局より：

現在の記載は、添加物評価書「硫酸銅」（2022）【29】と同様の記載としています。この他に（5）体内動態のまとめに盛り込むべき事項等があるかご確認ください。

なお、（1）～（4）の議論の結果を踏まえて追って修正する可能性がございます。

松井専門委員：

文及び引用を加えました。確認をお願いします。

まずグルコン酸銅試験を言及した方が良いでしょう。（ほとんどないでも可です）

グルコン酸に関する言及は不要でしょうか？

体内動態のまとめの知見はすべて引用した方が良いでしょう。また数値を含めた情報は前に記述してあることが重要です。

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

体内動態の項目にどの知見を追加するか、ご議論をいただきたく存じますので、より詳細な追記等は改めて検討させていただきたく存じます。

松井専門委員：

ラットにおける吸収率のデータ、ヒトにおける見かけの吸収率と真の吸収率のデータが上記のどの知見で示されているかが分かるようにしてください。

【第 22 回 WG の記載】

松井専門委員：

グルコン酸銅のヒト試験とラット試験を示してください。他の先生とのご相談になりますが、「吸収や排泄に関する知見はない」でもよいでしょう。

見かけの吸収率及び真の吸収率について出典を示してください。複数の知見をまとめた数値がのぞましいです。総説（他の評価書を含む）にデータはありませんか？

事務局より：

ご指摘を踏まえ、出典を追記いたしました。

松井専門委員：

1) グルコン酸銅を投与した知見に関しては、補足資料を要求していますので、修正の可能性があります。

Pratt ら（1985）の試験では 1 日あたり グルコン酸銅として 10 mg の銅を摂取しても、血清、尿、毛髪中銅濃度には変化がありません。なお、この試験では吐き気、下痢、胸焼けの発生は補給群と対照群で差が無かったとされています。食事摂取基準では、この知見を NOAEL に採用しています。ADI 次第ですが 10mg/日の意味が出てくるかもしれません。

Vinson ら（2007）では銅強化酵母の方がグルコン酸銅より 43.5%利用性が高いとされています。硫酸銅との比較があれば良いのですが、今のところ見つかっていません。1937 年の報告で原著は見えていませんが、ビール酵母の銅利用性は硫酸銅の 90%とされています。ビール酵母と銅強化酵母の銅利用性の類似性が一つのポイントだと思います。

2) 前回と同じコメントです。ラットの銅の見かけの吸収率 42～70%、真の吸収率 17～48%とされていますが、見かけの吸収率は Van den Berg 及び Beynen（1992）から、真の吸収率は Johnson 及び Lee（1988）からの引用です。記載した知見を集約すると、見かけの吸収率は 22-70%、真の吸収率は 17-72%となります。なぜ、代表的と考えられる見かけの吸収率と真の吸収率を異なる知見から引用したのか、また、他の知見のデータを考慮しなかったのか理由が必要です。なお、ヒトのデータは、記載した知見をまとめたものになっています。ちなみにヒトの真の吸収率 55～75%、見かけの吸収率 30～50%と大きな差は有りません。（Linder 及び Hazegh-Azam（1996）[111]）

また、銅を補給した試験だけではありません。無補給試験もありますので、本文の記載を修正。

吉田専門委員：

糞便中の内因性排泄に係る文章の冒頭について、「銅摂取量が過剰になった場合」あるいは「必要量を超えて銅を摂取した場合」などの但し書きがあったほうがいいと思います。

事務局より：

第 22 回 WG のご議論を踏まえ、ラットの吸収率に係る記載を削除いたしました。また、グルコン酸銅を投与した文献に基づくまとめの記載を追記いたしました。

横田専門参考人：

グルコン酸銅に関する内容ですが、銅全体の体内動態についての記述の後に載せる方がわかりやすいのではないのでしょうか。

事務局より：

今回はグルコン酸銅の評価であり、グルコン酸銅の知見から本文にきさいしておりますので、まとめでもグルコン酸銅の知見についてまずは記載しておりました。

横田専門参考人：

グルコン酸銅の評価書なので最初に述べるのは妥当かもしれませんが、内容が「肥満患者での吸収」、「連投の効果」なので、それらを冒頭に置くことに少々違和感がありました。

次の段落がラットにおける吸収、排泄についての記述、それからヒトにおける動態の記述なので、行きつ戻りつしている印象があります。最初に、「銅」の動態についてのべ、最後に「グルコン酸銅」の内容を述べる方が、わかりやすいように思いました。

事務局より：

ご指摘を受けてグルコン酸銅の記載を最後に移動しました。

1

2 2. ヒトにおける知見

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

参考資料 1 のヒトにおける知見の欄では概要書の引用文献と本評価書案の引用文献の対応関係を一覧表にしております。（例：概要書の引用文献番号 3 番は、評価書案の引用文献番号 20 番に該当します。）

評価書案に記載した引用文献の妥当性の確認の観点から、概要書には引用されており評価書案に追記が必要な文献や、評価書案から削除が必要な文献があるか、参考資料 1 を参考にご確認ください。

澤田専門委員：

これまでの評価書案においては、動物実験の結果が先にあり、主な健康影響や毒性を明確にしたうえで、ヒトへの健康評価を議論したように理解しているので、今回もその順番の方がいいような気がしました。

今の記述では、通して読んだ際に、ヒトにおける知見で何を明らかにしたくて文献を評価しているのかがあまりよく理解できないように思いました。

ヒトにおける知見の文言を改めてみると、提出された概要書で、ヒトの安全性エンドポイントに関する介入研究、観察研究としてまとめられている、表 E-4, E-5 の記述が中心でないのは、やはり違和感を感じます。

概要書では、主に、94 ページに、「銅塩で示した(2)から(7)の中で、(3) Harvey ら (2003) 61)、(5) Turnlund (1989) 57)、(6) Turnlund ら (1998) 59) 及び(7) Turnlund ら (2005) 62) は、銅摂取量に対する銅出納を検討している。(6)」

と記載されているように、どちらかというと、体内動態を中心に記載されているように思いますが、今回のヒトにおける知見は、ヒトにおける健康影響を記載するのであれば、今の記述は表 E-4, E-5 をもとに記載するのが良いと思います。

そのうち、表 E-4 の介入研究においては、健常者への介入研究として、と考え、Kessler らはアルツハイマー患者を対象としていることから、除外してもいいかと思えます。

Olivares らは、健常乳児を対象にしていることから、こちらは健常成人とは評価も異なるので表を別にしたほうがいいかもしれません。

表 E-5 の観察研究においては、ほとんどが飲料水中の健康影響であるところ、O'Donohue らは症例報告で特殊な状況においての報告(意図的に服用した例)は今回は対象としなくてもいいのではないかと__思いました。

健康影響を中心にするのであれば、ヒトにおける知見に、体内動態を示す、

Turnlund ら (1989)

Turnlund ら (1998)

Turnlund ら (2005)

は、あったほうがいいのでしょうか。ここに記述が必要だとしたら、健康アウトカムと混ぜないで記載し、ヒトにおける知見にこれら体内動態が必要であれば、別の項目を立てるのがいいと思います。

(1の(3)にあるような気がします。)

事務局より：

本評価書案では、栄養成分関連添加物に関する食品健康影響評価指針(参考資料2)の「第2章 第2 安全性に係る知見」では、体内動態・ヒトにおける知見・毒性試験の順番でまとめられておりますので、この順に倣って項目立てをしております。

また、松井専門委員からも「ヒトにおける知見」の項目についてご指摘をいただいております。「体内動態」及び「ヒトにおける知見」の項目の記載についてご議論をお願いいたします。

○ご意見を踏まえた各項目での記載の整理

・ヒトの体内動態に関連する知見は、「体内動態」の項目に記載をし、「ヒトにおける知見」の項目には記載しない。(「体内動態」の項目にはヒト及び動物の体内動態に関連する知見を記載する。)

・ヒトの毒性試験に関連する知見は、「ヒトにおける知見」の項目に記載する。(動物の毒性試験に関連する知見は「毒性試験」の項目に記載する。)

・一つの文献にて複数の結果が示されており、「体内動態」及び「ヒトにおける知見」の両方の項目に該当する知見があるところ、該当する文献については両方の項目に記載する。その際、各項目に準じた記載とする。

また、ヒト及び動物の体内動態及び毒性試験に関する知見をそれぞれの項目でまとめつつ、これらの結果を比較できるよう、「Ⅱ. 安全性に係る知見の概要」全体に係るまとめの項目を作成することはいかがでしょうか。

横田専門委員： 評価書案の記載方法については、指針にそって、事務局のご提案でいように思います。 全体を通して、安全性に対する評価をまとめる、というのも必要に思いました。
[第 22 回 WG の記載] 事務局より： 第 21 回 WG でのご議論の方針に基づき、本文の記載を修正いたしましたのでご確認ください。 事務局より： 体内動態の項目と重複する研究デザインの記載を削除するように修正いたしましたので、ご確認ください。
事務局より： ヒトにおける知見の項目について、要請者からエビデンステーブル及びメタアナリシスに係る文献を提出いただきましたので、メタアナリシスに係る項目を追加するよう以下の通り項目立てを整理いたしました。 ＜ヒトにおける知見の項目＞ (1) 介入試験・観察研究 (2) 症例報告 (3) メタアナリシス (4) ヒトにおける知見のまとめ 追加された文献の追記及び既存の記載の一部修正をしておりますので、ご確認をお願いいたします。なお、エビデンステーブル等の表に記載の文献は、すべて本文に掲載しております。 また、以前ご指摘のございました下記文献については、それぞれ後述の通り対応しております。 ・ Kessler ら (2008) : 参考資料として記載 ・ Olivares ら (1998) : 介入研究のうち、「特定の集団に関する知見」の項目に記載 ・ O'Donohue ら (1999) : 症例報告の項目に記載

(1) **介入試験・観察研究**

① **グルコン酸銅**

a④ 二重盲検**プラセボ対照**試験 (Pratt ら (1985) ; SCF (2003)、EFSA (2006 及び 2015)、IOM (2001)、日本人の食事摂取基準 (2024~~5~~) 及びグルコン酸銅評価書 (2004) にて引用) (Ⅱ. 安全性に係る知見の概要 1. 体内動態から再掲)

前述の体内動態③の成人腰痛患者 14 名ヒト (銅投与群は男性 3 名、女性 4 名、14 名、平均年齢 42 歳) を対象として、表 5 のとおり投与群を設定し、グルコン酸銅 10 mg/日 (5 mg を 1 日 2 回) またはプラセボをカプセルとして 12-週間投与した二重盲検プラセボ対照試験が実施されている。

においては、被験者から試験開始時、6週間後、及び12週間の試験終了時に採血し、ヘマトクリット、MCV及び血液生化学的検査項目が測定されている。
グルコン酸銅投与群は1日あたり10 mgの銅を摂取している。

その結果、血液検査において、グルコン酸銅投与群のヘマトクリット、MCV、トリグリセリド、SGOT、GGT、LDH、コレステロール及びアルカリホスファターゼの値はプラセボ群と比較して差はなかった。

吐き気、下痢及び胸やけの副作用は、グルコン酸銅投与群とプラセボ群の被験者で同等であった。著者は、この結果はウィルソン病に罹患していないヒトでは、恒常性の範囲で組織や肝臓で保持される量を超えて吸収された過剰の銅は排出されるというほかの研究結果を裏付けるとしている。(参照68)

【84 (グルコン酸銅 (第1版) 28)】

日本人の食事摂取基準(2025年版)は、本試験の結果から健康障害非発現量を10 mg/日とみなし、血漿・血清銅濃度の上昇を起こさないために、不確実性因子を1.5として、耐容上限量を男女一律に7 mg/日としている。(参照5)【追1】

EFSA(2023)は、本試験は以前これまでの評価の根拠基盤となっていたが、サンプルサイズが小さい(成人7名)こと、単一用量の評価であること、最低限の文書化が最小限であること、評価されたエンドポイント項目が観察期間における中の銅毒性の適切正な指標値である正当性がないこと、研究前の銅暴露露の特性評価がないの不明など、重大な限界があったとしている。(参照33)【21】

~~-(2)-② 銅及び銅塩類~~

~~a. 健康成人を対象とした介入研究~~

~~① (a) 介入研究試験 (Turnlund ら (1990) ÷ SCF (2003)、EFSA (2006 及び 2015)、IOM (2001)、OECD (2014) 及び硫酸銅評価書 (2022) にて引用) (Ⅱ. 安全性に係る知見の概要 1. 体内動態から再掲)~~

~~前述の体内動態①の米国において、健康常成人 (男性 112名、22～35 歳) に、最初の 24 日間は十分量銅含有食銅含有食 (銅として 1.68 mg/人/日²⁷⁾、次の 42 日間は低量銅含有食銅含有食 (銅として 0.79 mg/人/日²⁸⁾、最後の 24 日間は高量銅含有食銅含有食 (7.53 mg/人/日²⁹⁾ を摂取させた、血漿及び尿中の銅濃度を調べる試験が行われている。試験においては、血漿銅濃度に加え、明らかな銅欠乏症で低下することが知られている銅の状態を示す指標である、セルロプラスミン及び赤血球スーパーオキシドディスムターゼ (SOD) 活性が測定されている。食事の銅濃度は、基本食 (銅含有量～0.4 mg) に硫酸銅を添加することで調整した。尿は毎日、血液は研究試験開始時、研究試験終了時及び低量銅含有食銅含有食 (銅として 0.79 mg/人/日) 摂取期間の中間点で採取され、血液サンプルを測定した。~~

その結果、血漿中の銅濃度、セルロプラスミン濃度、赤血球中のスーパーオキシドジスムターゼ (SOD) 活性に各代謝期間で明らかな違いはなく、銅の摂取量に影響を受けなかった。(参照 53) 【149 (硫酸銅 87)】

(b) 介入研究 (Baker ら (1999))

英国において、銅の摂取量が骨代謝の生化学的指標に及ぼす影響を調べる目的で、健康な成人男性を対象とした縦断介入研究が実施されている。被験者 (男性 11 名、平均 30.9 ± 11.2 歳、20~59 歳) には最低 4 週間のウォッシュアウト期間を挟んで銅含有食中等量 (銅として 1.6 mg/日 ²⁷⁾、銅含有食低量 (0.7 mg/日 ²⁸、低量銅食のみ)、銅含有食高量 (6.0 mg/日 ³⁹⁾ の銅をこの順で連続 8 週間にわたり、食事により摂取させた。3 つの食事期間を通して低量銅食が供与され、中等量及び高量群は、目的とする量となるよう硫酸銅溶液を低量銅食に補給した。各摂取期間の 42 日目朝の空腹時初尿サンプル及び一晩絶食翌朝の血液サンプルを採取し、骨吸収のバイオマーカーであるピリジノリン (Pyr) 及びデオキシピリジノリン (Dpyr) の尿中濃度、尿中クレアチニン (Cr)、血清中の銅濃度、セルロプラスミン、及び骨形成のマーカーであるオステオカルシン濃度を測定した。

その結果、尿中 Cr、血清中の銅濃度及びセルロプラスミンは食事中的銅摂取量の影響を受けなかった。一方、銅摂取量を中等量から低量に切り替えたとき、尿中 Pyr/Cr 比及び Dpyr/Cr 比は有意に増加した (それぞれ 30% 及び 25%)。その後銅摂取量を低量から高量に切り替えたとき、尿中 Pyr/Cr 比及び Dpyr/Cr 比は有意に減少した (それぞれ 30% 及び 22%)。オステオカルシンには 3 つの摂取量期間の間に有意な差は認められなかった。

著者らは、食事中的銅の制限に対する反応として尿中ピリジニウム架橋排泄の増加が認められたことは、骨代謝回転亢進の早期指標となる可能性があり、骨代謝回転率の上昇は骨量減少の悪化により骨折のリスク因子となりうることから、銅摂取量の不足は骨の健康に影響を与える可能性があるとしている。(参照 69) 【152】

(c) 無作為二重盲検クロスオーバー試験 (Pizarro ら (1999))

チリにおいて、段階的に濃度を変えて銅を添加した飲料水の摂取によって引き起こされる急性胃腸障害を明らかにすることを目的に、無作為二重盲検試験が実施されている。健康な成人被験者 (女性、60 名) を無作為に 15 名ずつ 4 群に割り当て、硫酸銅を銅イオンとして 0、1、3、5 mg/L の濃度になるように添加した飲料水を、ラテン方格法により割り付けた順序でそれぞれ 2 週間ずつ、1 週間のウォッシュアウト期間を挟んで計 11 週間摂取させた。摂取期間中は毎日、摂取した水の量と胃腸症状 (吐き気、嘔吐、腹痛、腹部痙攣、下痢、食物不耐症)、頭痛について記録した。銅の栄養状態を把握するた

めに試験開始 1 週間前、初回の 2 週間摂取期間の最終日、及び研究終了の最終日に採血し、血清銅濃度、セルロプラスミン及び肝酵素（アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ、アラニンアミノトランスフェラーゼ、L-グルタミルトランスフェラーゼ）活性を測定した。それぞれのベースラインは各被験者が 0 mg/L の飲料水を摂取した期間の測定値とした。

その結果、1 日の飲水量は、銅の添加量に関わらず各群同様で、平均飲水量は 1.64 L/人であった。血清銅、セルロプラスミン及び肝酵素活性はいずれもベースラインと差がなかった。試験期間中に 21 名の被験者が胃腸障害を記録し、9 名が下痢、12 名が腹痛、吐き気、あるいは嘔吐を呈した。銅を添加していない水を摂取した被験者はいずれも下痢を発症しなかったが、銅添加水を摂取した被験者においては銅の濃度と下痢の間に関連性はなかった。腹痛、吐き気、嘔吐のいずれかを発症した回数は 0、1、3、5 mg/L の濃度でそれぞれ 3、1、10、9 回あり、3 及び 5 mg/L で有意に増加した。2 週間の摂取終了後、0 mg/L を摂取した被験者では症状が持続したのに対し、1～5 mg/L の銅添加水を摂取した全ての被験者で症状が消失した。試験期間中に発生した 12 回の下痢のうち 6 回は、試験開始の最初の週に発生して、その後有意な減少が認められた。対照的に、腹痛、吐き気、嘔吐の時間分布は試験期間を通して変わらなかった。

銅の急性の過剰摂取は下痢や胃腸障害を引き起こし、極めて高用量の慢性的な摂取では肝障害が報告されているが、著者らは本研究では最高濃度の 5 mg/L (8.2 mg/日) の摂取でも肝酵素に変化は認められなかったとしており、血清銅濃度やセルロプラスミンの測定値からは、余分な銅のほとんどは吸収されなかったと推測できると考察している。(参照70)【81】

(d) 多施設共同二重盲検プラセボ対照クロスオーバー試験 (Turley ら (2000))

銅は生体内で抗酸化剤、試験管内では酸化促進剤として、二重の役割を果たしている。食事中的銅の補給が脂質の酸化に対する感受性に及ぼす影響を調べるために、欧州において、健康な非喫煙者のボランティアを対象とした多施設共同研究が実施されている。下記の 4 つの施設がそれぞれ異なる実験プロトコルを用いて、通常の銅摂取量又は銅制限食を摂取した場合の、銅を介したペルオキシナイトライト誘発低密度リポタンパク質コレステロール (LDL) 酸化への影響を調べた。

・施設 1 北アイルランド

被験者数：24 名（男性 12 名、女性 12 名）、22～45 歳

銅として硫酸銅 3 mg/日又はプラセボ、続いて銅グリシンキレート 3 mg/日又はプラセボ、最後に 6 mg/日又はプラセボをそれぞれ 6 週間摂取（ウォッシュアウト期間の記載なし）

1 • 施設 2 イギリス

2 被験者数：男性 11 名（20～59 歳）

3 中等量（銅として 1.6 mg/日）、低量（0.7 mg/日）、高量（6.0 mg/日）を
4 それぞれ 8 週間摂取、各ウォッシュアウト期間は最低 4 週間

5 • 施設 3 デンマーク

6 被験者数：女性 16 名（18～30 歳）

7 銅として硫酸銅 0、3、6 mg/日をそれぞれ 4 週間摂取、各ウォッシュア
8 ウト期間は最低 3 週間

9 • 施設 4 フランス

10 被験者数：28 名（男性 14 名、女性 14 名、50～72 歳）

11 銅として硫酸銅 3 mg/日、銅グリシンキレート 3 mg/日及び 6 mg/日をそ
12 れぞれ 6 週間摂取、各ウォッシュアウト期間（プラセボ投与）は 6 週間

13 空腹時採血した被験者の血液から LDL を分離し、*in vitro* で銅又はペルオ
14 キシナイトライトにより誘発される LDL の酸化に対する感受性を、共役ジェ
15 ンが生成するまでのラグタイム、無処置 LDL の電気泳動移動度に対する相対
16 値 (REM)、及びセルロプラスミンオキシダーゼ活性により評価した。すべて
17 の施設の結果から、食事による銅サプリメントの摂取は、銅又はペルオキシ
18 ナイトライト誘発 LDL 酸化感受性に影響を与えないことが示された。

19 著者らは、銅サプリメントが LDL 酸化感受性に影響を与えないことは、高
20 齢者であっても銅摂取量を増やすことが可能であることを示唆しており、銅
21 を豊富に含む食事を摂る人への潜在的な毒性影響に関する懸念を軽減するの
22 に役立つと考察している。（参照 71）【80】

23
24 (e) 二重盲検クロスオーバー試験（Rock ら（2000））

25 上記の (d) の多施設共同試験の一環で、銅サプリメントが中年層の赤血球
26 の酸化能及び血漿抗酸化物質濃度に及ぼす影響を明らかにすることを目的と
27 して、二重盲検クロスオーバー試験が実施されている。28 名の健康なボラン
28 ティア被験者（男女各 14 名、50～70 歳）が 7 名ずつ 4 つのグループに無作
29 為に割り当てられ、銅として硫酸銅 3 mg/日、銅グリシンキレート 3 mg/日及
30 び 6 mg/日を、それぞれプラセボを摂取する 6 週間のウォッシュアウト期間
31 を挟んで、6 週間ずつ摂取した。被験者からは各摂取期間の終了時に採血し、
32 遠心分離した赤血球を 2,29-アゾビス (2-アミジノプロパン) 塩酸塩 (AAPH)
33 と混合してインキュベートしたときに溶血が 50%起こるまでに要する時間
34 (LT₅₀)、脂溶性ビタミン、カロテノイド、赤血球 SOD 及びヘモグロビン濃
35 度を測定した。

36 その結果、3 回のウォッシュアウト期間終了時の LT₅₀ は被験者全体で 176.7
37 ±2.9 分で、男女の差はなかった。硫酸銅摂取後に LT₅₀ は 188.4±3.7 分に有
38 意に増加し、赤血球が AAPH 誘発酸化に抵抗性を示したことを表した。銅グ

リシンキレート 3 mg/日摂取後の LT₅₀ は 177.1 分でプラセボ期間と比較して有意な変化は認められなかったが、6 mg/日では 186.5±4.2 分に有意に増加した。赤血球 SOD 活性に有意な変化は認められなかった。血漿中抗酸化物質については、α-トコフェロール、γ-トコフェロール、レチノール、ルテインの濃度に有意な変化は認められなかったが、銅グリシンキレート 3 mg/日摂取後にリコピン、α-カロテン及びβ-カロテンの濃度が有意に低下した。

著者らは、銅の摂取量が 7mg/日と高用量であっても酸化促進作用はなく、むしろ酸化に対する赤血球の保護作用をもたらす可能性を示唆しており、赤血球の酸化能の低下は、SOD 活性の上昇によるものではなく、膜抗酸化物質含有量の変化など、他のメカニズムによって生じる可能性があるとしている。
(参照 72) 【79】

②— (f) 無作為クロスオーバー介入試験 (Harvey ら (2003) ; OECD (2014) 及び硫酸銅評価書 (2022) にて引用) (Ⅱ. 安全性に係る知見の概要 1. 体内動態から再掲)

前述の体内動態⑧の英国において、健康常成人 (男性 12 名、年齢 32±11 歳⁵⁰⁴⁵ (20~59 歳)、体重 78.4±9.3 kg) に、銅として 0.7、1.6 又は及び 6.0 mg/人/日の銅を含有する食事を 8 週間ずつ摂取させる試験においては、1 日目及び 42 日目に採血した血液を用いて、血清銅濃度、セルロプラスミン及び脂質スクリーニング項目等の種々の生化学的指標が測定されている。が行われている。1.6 又は 6.0 mg/人/日の食事の銅濃度は、基本食 (銅含有量 0.69 mg) に硫酸銅を添加することで調整した。各試験期間の間は 4 週間のインターバルを設けた。血液は、試験 1 日目及び各試験期間の 42 日目に採取した。

その結果、赤血球中の SOD 活性、血清中の銅濃度及び、セルロプラスミン濃度並びに及び血漿中セルロプラスミン活性は正常範囲内であり、各試験期間での間に有意差はみられなかった。ADP 刺激血小板凝集率、血漿脂質リポタンパク質 (総コレステロール、HDL 及び LDL コレステロール)、トリアシルグリセロール、アポリポタンパク質 A1 及び B、グルタチオンペルオキシダーゼ活性などの心血管疾患に関連する危険因子、並びにヘマトクリット、ヘモグロビン、平均赤血球ヘモグロビン濃度及びフェリチンヘマトクリットなど等の血液学的因子についても、銅の摂取量に影響を受けなかった。(参照 50) 【61 (硫酸銅文献 54)】

EFSA (2023) は、赤血球の SOD 活性、血清中の銅濃度、および血漿中のセルロプラスミン濃度について、3 つの期間間で有意な差は見られなかった、としている。(参照 33) 【21】

⁵⁰ 平均±標準誤差

事務局より：

EFSA の見解ではなく、単なる結果となるため、EFSA の記載を削除しました。

③—(g) 二重盲検クロスオーバー介入試験(O'Connor ら(2003); SCF(2003)、EFSA (20~~2306~~) 及び硫酸銅評価書 (20~~2204~~) にて引用)

英国において、健康常成人 22 名 (男女各 11 名、年齢：男性 33.5 ± 2.6 歳⁵¹、女性 29.0 ± 12.2 歳、体重：男性 81.2 ± 2.8 kg、女性 60.5 ± 2.8 kg) に、通常の食事からの摂取 (平均は男性 1.43 ± 0.1 mg/人/日、女性 1.03 ± 0.1 mg/人/日) のほか、銅として 3 mg/人/日の硫酸銅を 6 週間、次に銅として 3 mg/人/日の銅グリシンキレート⁵²を 6 週間、最後に銅として 6 mg/人/日の銅グリシンキレートをそれぞれ 6 週間のプラセボ投与期間 (ウォッシュアウト期間) を挟んで 6 週間摂取させる二重盲検クロスオーバー試験が行われている。本試験では各介入期間の 0 週目 (ベースライン)、2 週目及び介入期間の終了時に採血し、銅による DNA の損傷や肝機能に及ぼす影響を、採取した単核白血球のアルカリコメットアッセイ及び血漿の生化学検査によって評価した。

その結果、血漿 ALT 及び γ -グルタミルトランスフェラーゼ (γ -GT) により評価した肝機能、並びにアルカリコメットアッセイにより評価した単核白血球の DNA 損傷について、銅の摂取による有意な変化は見られなかった。

(参照 73) 【78 (硫酸銅~~文献~~-88)】

~~EFSA (2023) は、多施設 FOODCUE 研究では、最大 6 mg/日の銅補給は DNA 損傷のマーカーに影響を与えなかったことが報告されている、としている。(参照 33) 【21】~~

事務局より：

EFSA の見解ではなく、単なる結果となるため、EFSA の記載を削除しました。

(h) 介入試験 (Turnlund ら (2005)) (Ⅱ. 安全性に係る知見の概要
1. 体内動態から再掲)

前述の体内動態⑨の成人男性 9 名に、銅として 1.6 mg/人/日²⁷を含む食事を 18 日間 (期間 1)、その後、 7 mg/人/日⁴⁴を含む銅サプリメントを 129 日間、さらにその後食事とサプリメントで 7.8 mg/人/日²⁹を 18 日間 (期間 2) 摂取させた試験においては、銅の状態、酸化ダメージ及び免疫機能の指標についても測定し、長期間の高用量の銅摂取がこれらに及ぼす影響が調べられている。

その結果、赤血球 SOD、セルロプラスミン、血漿銅濃度、尿中銅濃度、毛髪銅濃度は期間 1 と比較して期間 2 で有意に高かった。セルロプラスミンタンパク質と血漿銅濃度は両期間で差がなかった。抗酸化状態の指標である尿

⁵¹ 平均±標準誤差

中チオバルビツール酸反応性物質 (TBARS) は期間 1 と比較して期間 2 で有意に高かったが、血漿マロンジアルデヒド濃度には有意な変化は認められなかった。免疫機能への影響として、総白血球数に大きな変化はなかったが、期間 1 から期間 2 へと銅摂取量が増加するのに伴って好中球数及び比率が有意に減少し、リンパ球数が有意に増加した。T 細胞増殖の調節に関与する IL-2R の濃度は有意に低下した。三価インフルエンザワクチン (北京株、シドニー株、ハルビン株) のうち、北京株接種後の抗体価は、比較のために設定した 10 名の対照群で 47 倍に上昇したのに対し、被験者ではわずか 14 倍にとどまった。他の 2 株では有意な群間差はなかった。

著者らは、数か月間にわたる高用量の銅摂取により示された銅の状態、酸化状態及び免疫機能のいくつかの指標の変化は、銅の過剰摂取による悪影響を示唆している可能性があるが、それらの影響の生理学的意義はまだ解明されていないと結論している。(参照 74) 【83】

b. 特定の集団についての介入研究

(a) 無作為化比較試験 (Olivares ら (1998))

チリにおいて、WHO 暫定ガイドライン値である 2 mg/L の銅含有飲料水に乳児が慢性的に曝露したときの耐性と安全性を確認することを目的として、無作為化比較試験が実施されている。3 か月齢の健康な乳児 128 名を無作為に 4 群に分け、グループ I (56 名) は硫酸銅水溶液を調製した高銅含有飲料水 (2 mg/L) と粉ミルク、グループ II (27 名) は低銅含有飲料水 (<0.1 mg/L) と粉ミルク、グループ III (24 名) は高銅含有飲料水と母乳、グループ IV (21 名) は低銅含有飲料水と母乳で 12 か月齢になるまで育てられた。母乳育児群の母親はそれぞれ子どもと同じ銅含有量の飲料水を摂取した。各群の銅摂取量は以下の通りであった。

表 19 銅摂取量

グループ	銅摂取量 (µg/kg 体重/日) 注		
	生後 4～6 か月	生後 6～9 か月	生後 9～12 か月
I 高銅含有飲料水 (2 mg/L) と粉ミルク	318.7±107.3	304.9±84.5	248.1±84.0
II 低銅含有飲料水 (<0.1 mg/L) と粉ミルク	122.7±107.4	157.8±146.0	128.6±113.1
III 高銅含有飲料水 (2 mg/L) と母乳	52.2±48.5	179.0±105.2	178.7±82.1
IV 低銅含有飲料水 (<0.1 mg/L) と母乳	37.8±36.7	127.8±126.2	174.1±139.8

注) グループ I 及び II は粉ミルク中の銅も含めた摂取量であるが、グループ III 及び IV は母乳中の銅

含有量が測定されなかったため、飲料水だけからの銅摂取量を表す。

各家庭に毎週調査員が訪問して飲水量を記録したのに加えて、母親からの提供情報に基づき、粉ミルクの調乳や離乳食に使用した1日の水の量、胃腸疾患、呼吸器疾患、その他の病気についても記録した。各被験者は生後6、9、12か月の時点で採血し、血清銅濃度、セルロプラスミン、セルロプラスミンタンパク質濃度、赤血球SOD活性、赤血球中メタロチオネイン濃度、総ビリルビン、GOT活性、GPT活性及びGGT活性を測定した。また、毎月外来診療所で診察を受け、臨床評価及び身体計測評価が行われた。追跡中に39名の乳児が脱落した（グループⅠ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳでそれぞれ17、3、13、6名）。

試験の結果、各グループ間で乳児の成長と罹患エピソードに差は見られず、銅の状態及び肝機能検査結果にも差はなかった。高銅含有飲料水群（グループⅠ＋Ⅲ）と低銅含有飲料水群（グループⅡ＋Ⅳ）で比較すると、9か月齢時点でのセルロプラスミン活性が、高銅含有飲料水群において有意に高かった。

著者らは、銅含有量の高い飲料水と低い飲料水を摂取した乳児の間で銅の状態に大きな違いはなく、急性又は慢性の毒性症状やその兆候、肝機能の著しい変化も認められなかったことは、2 mg/LとするWHOの暫定基準値の安全性を裏付けるものであると結論している。（参照75）【88】

(b) 前向き無作為化二重盲検プラセボ対照並行群間試験（Kesslerら（2008））

以下の試験は、アルツハイマー病患者の銅摂取による疾病の進行を主要評価項目としてモニタリングした試験であり、銅摂取による有害影響評価を主な目的としたものではないが、安全性の指標として血漿銅濃度や肝機能等を評価しているため、参考資料として記載する。

銅の恒常性の障害とアルツハイマー病（AD）の病理学的プロセスとの関連を示すいくつかの報告があることから、ドイツにおいて、AD患者に銅を補給し、疾患の進行をモニタリングする前向き無作為化二重盲検プラセボ対照試験が実施されている。ミニメンタルステート検査（MMSE）スコアが25未満で、AD薬のドネペジル5～10 mgを少なくとも2か月間服用している患者68名（50～80歳）を無作為に2群に割り付け、ドネペジルの服用は継続したうえで、銅（Ⅱ）オロチン酸二水和物51.62 mg/日（銅として8 mg/日）（35名）又はプラセボ（33名）を12か月間服用させた。ベースライン時、3、6、9、12か月時に、主要評価項目であるAD評価尺度（ADAS-cog）及びMMSEベースラインスコアからの変化量、また、安全性の指標として血漿銅濃度及び肝酵素等の血液学的検査が評価された。患者宅の飲料水中の銅濃度も分析された。

データ解析の結果、ベースライン時の年齢、性別、疾患期間、疾患発症年齢、教育履歴、時計描画テストにおいて、両群間に有意な差はなかった。ADAS-cog のスコアはプラセボ群より実薬群の方が常に低い値を示したが、両群ともに時間の経過に伴って増加した。MMSE スコアは両群とも時間の経過とともに徐々に低下し、どの時点でも 2 群間に有意な差はなかった。血漿銅濃度は、ベースライン時は両群とも年齢に応じた標準範囲内であったが、実薬群が濃度を維持したのに対し、プラセボ群では時間の経過とともに濃度が低下した。患者の肝機能及び血液学的検査では、いずれの時点においても有意な変化は認められなかった。

著者らは今回の結果について、銅 8 mg/日の経口摂取は AD のリスク因子として除外でき、銅の長期経口摂取は AD 患者によく耐容され、また AD の進行に影響を与えないことを示しているとしている。(参照76)【82】

c. 観察研究

(a) 後ろ向き観察研究 (Scheinberg と Sternlieb (1995))

インドでは銅製容器で煮沸された牛乳を摂取して肝臓に銅が蓄積することによる小児肝硬変の発症が知られているが、米国において、水道水中の銅濃度が特に高い地域の小児の肝疾患及び死亡と銅との関連を調べる観察研究が実施されている。米国の中規模都市の中で、水道水中の銅濃度が最も高いマサチューセッツ州の 3 つの町において、1969 年から 1991 年の 23 年間に 0～5 歳であった小児 64,124 人年 (年平均人口 2,788 人) について、乳児死亡総数及びあらゆる形態の肝疾患による乳児死亡数が調査された。水道水中の銅濃度は、1992 年 7 月～12 月にかけて分析され、3 つの町の平均銅濃度は 8.5～8.8 mg/L であった。

23 年間に 135 例が死亡したが、肝疾患による死亡はなかった。著者らは、6 歳未満の小児が銅を約 8.5 mg/L 含有する水を摂取しても突発性銅中毒症 (ICT) を引き起こさないと結論しており、ICT の死亡例で銅の含有量が 6.8 mg/L 未満の水を摂取していたとの報告があることから、ICT は遺伝的素因を持つ小児にのみ発症すると考えている。(参照77)【93】

(b) 前向きコホート研究 (Dassel de Vergara ら (1999))

ドイツにおいて、インド小児肝硬変 (ICC) に類似する非インド系小児肝硬変 (NICC) のいくつかの症例が報告され、銅の慢性中毒が原因である可能性が高いことが示唆されている。幼児期の肝疾患のリスクと水道水中の銅の量との関連性を正確に判断する目的で、銅配管で水道水が供給されている 956 世帯から採取した水道水サンプルの銅濃度と、これらの世帯の乳児の健康状態が調査されている。銅濃度が 0.8 mg/L 以上の場合は、銅摂取量によって曝露グループレベル I (少なくとも生後 12 週間は母乳又はミネラルウォーター

一を使用したミルクで育てられ、その間の水道水摂取量が 200 mL/日未満であった乳児)あるいは曝露グループレベルⅡ(生後 12 週間未満しか母乳を与えられていなかったか、水道水摂取量が 200 mL/日以上であった乳児)のいずれかに分類された。

956 世帯のうち、朝の停滞水中の銅濃度が 0.8 mg/L 以上であったのは 38 世帯、日中の無作為サンプリング水中の銅濃度が 0.8 mg/L 以上であったのは 19 世帯で、合わせると 1 回でも 0.8 mg/L 以上となったのは 20 世帯 (2%) であった。全体の銅濃度の平均値は 0.09~0.58 mg/L で、最高値は井戸水を利用している家庭の停滞水で、6.4 mg/L であった。公共水道を利用している家庭の最高値は、停滞水で 3.7 mg/L、日中の無作為サンプリング水で 2.6 mg/L であった。曝露グループレベルⅡに分類された乳児は 12 名で、そのうち 10 名が小児科医による肝臓の触診と超音波検査を受け、うち 8 名の血液検査(血清銅、セルロプラスミン、免疫グロブリン、GOT、GPT、GGT、ビリルビン)が実施された。

10 名の乳児のすべてで肝疾患の徴候は認められなかった。血液検査では 1 名において生後 8 か月齢時に血清銅濃度の正常値を超える高値が認められたが、この家庭の水道水中の銅濃度が高かったことから両親が停滞水を避けるようにしたところ、11 か月齢時点では正常値となった。この乳児は全期間を通して下痢、嘔吐、その他の症状はなく、肝機能障害があった可能性は低いとされている。

著者らは、調査結果に基づくと、水道水中の銅が NICC 発症の原因である可能性は低いと考えられると考察している。(参照78)【92】

(c) 多施設共同後ろ向き観察研究 (Dieter ら (1999))

ドイツにおいて、小児期肝硬変 (ECC) が銅の過剰摂取と関連するかどうかを調べる目的で、後ろ向き観察研究が実施されている。ドイツの代表的な小児科機関のうち、該当症例のあった 16 の小児科機関で診断された ECC 患者 103 例を対象に、飲料水の水質と銅管の腐食状況、粉ミルク調製時の水道水使用状況の調査が行われた。103 例の発症時月齢は 1~60 か月で、病因は先天性胆管異常 49 例 (47.5%)、先天性代謝障害 18 例 (17.5%)、慢性銅中毒 8 例 (7.8%)、先天性肝線維症 5 例 (4.8%)、亜急性肝不全 4 例 (3.9%)、B 型肝炎ウイルス 1 例 (1.0%)、原因不明 18 例 (17.5%) であった。

各症例の給水方式、配管の材質及び腐食状況、乳児期の授乳方法を調べた。その結果、銅が原因であると疑われる 8 例 (銅管を通して単一の井戸から、腐食性の高い、又は酸性であると推定もしくは確認された水が供給されている)のうち 5 例では、飲料水中の銅濃度が曝露量を正確に反映していないと思われる 1 例を除いて 9.0~26.4 mg/L と高く、また肝臓の銅濃度が非常に高いことが証明されたことから、慢性銅中毒が ECC の主なあるいは唯一の原

因と考えられた。残りの 3 例は肝臓中の銅濃度が不明であったため、銅中毒が原因であると疑われるにとどまった。

著者らは、103 例のうち 5 例は、酸性の井戸水／銅管を介した過剰な銅摂取が原因である可能性があるが、飲料水、授乳方法、給水設備の種類についての情報が不足しているために ECC の原因としての銅の役割について結論を出すことはできないと考察している。(参照79)【94】

(d) 横断研究 (Zietz ら (2003))

ドイツにおいて、公共水道水が銅管で供給されている家庭の水道水中の過剰な銅濃度の程度を明らかにし、離乳食に使用される水道水の銅含有量と乳幼児期の肝疾患リスクとの関連性を明らかにすることを目的とした横断研究が実施されている。ベルリン全域で 8～10 か月前に出生した乳児がいる 2,944 世帯から、家庭で水道水を使用するたび 100 mL ずつ採取したサンプル (サンプル 1)、及び翌日の朝・昼・夕方・就寝前にそれぞれ水道水 250 mL ずつを採取したサンプル (サンプル 2) の銅濃度を測定した。サンプルのうち 1 つでも銅濃度が 0.8 mg/L 以上で、少なくとも 6 週間、200 mL/日以上水道水を摂取していた乳児には、小児科医の診察を推奨し、肝臓の触診、超音波検査、血液検査 (血清銅濃度、セルロプラスミン、免疫グロブリン、GOT、GPT、GGT、総ビリルビン、CRP) を行った。2,619 世帯の銅濃度を測定した平均値は、サンプル 1 が 0.44 mg/L、サンプル 2 が 0.56 mg/L であった。

小児科医の診察が推奨された 541 名のうち、様々な理由で検査を受けなかった 24 名を除き、検査を受けた乳児はいずれも黄疸や頻繁な嘔吐などの肝障害の症状を示さなかった。腹部超音波検査では 5 例において肝臓又は脾臓にやや異常な結果が認められたが、感染症に起因する可能性が示唆された。血液検査を受けた 183 名の乳児において、GOT、GPT、GGT、総ビリルビン、血清銅、セルロプラスミンと銅の推定 1 日摂取量及び総摂取量との関連性を統計的に分析した結果、健康への悪影響の兆候は認められなかった。

著者らは本研究の結果から、銅濃度が高い水道水を用いた離乳食を摂取した乳児に肝機能障害の兆候は確認されず、公共水道の銅管による危険性の兆候も検出されなかったとしている。(参照80)【91】

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

第 21 回 WG の議論を踏まえ、体内動態に関する部分を削除いたしました。本文に記載する内容については、エビデンステーブルの議論と合わせてご確認ください。

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

規格基準改正要請者より EFSA (2023) の評価で考慮されたヒト研究に記載されている、銅の動態を扱ったヒト介入試験、安全性エンドポイントを扱ったヒト介入研究及び観察研究

が要請者より提出されています（概要書の表 E-3～E-5 及び引用文献を参照）。このうち、表 E-3 の 4 つの知見並びに表 E-4 の O'Connor (2003)、Harvey (2003) 及び Pratt (1985) の知見以外については、本評価書案で言及しておりません。言及していないこれらの知見について、本評価書案に追記すべき内容かどうか、ご検討ください。

~~-(3)-~~③グルコン酸及びグルコン酸塩類

グルコン酸塩類を被験物質としたヒトにおける知見は提出されていない。

~~-(4)-ヒトにおける知見に関する検討~~

~~-(1)～(3) 介入試験及び観察研究における知見について、エビデンステーブルは表 20 のとおりである。~~

~~また、症例報告については表 22 のとおりである。~~

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

評価書案に記載した知見について、指針に基づき*、ヒトにおける影響の分類及びエビデンステーブル等の作成を行います。現在のエビデンステーブル（表 19）の記載は概要書の記載（表 G-11）をそのまま載せておりますが、追加又は削除すべき知見がないかに加えて、各知見のヒトにおける影響の分類をご検討ください。

また、指針では症例報告とメタアナリシスについてもまとめることとしております。症例報告については概要書の表 E-5 の Scheinberg and Sternlieb (1994) 及び O'Donohue ら (1999) がございますので抜粋する形で表 23 に記載しております。これらの知見を表 23 として評価書案に記載すべきかご検討ください。

さらにメタアナリシスについては、要請者から提出された評価資料の中には確認できませんでしたので、項目を設けておりませんが、項目を設けて知見をまとめるべきか、ご検討ください。

なお、今回はエビデンステーブル及び症例報告に記載する知見の選定についてご検討ください。具体的な記載については次回以降の WG でご検討いただく予定でございます。

*：（指針の記載を抜粋）

=====（ここから引用）=====

2 ヒトにおける知見

「ヒトにおける知見」においては、(1)、(2) 及び (3) に基づいてエビデンステーブル、症例報告、メタアナリシスといった知見についてまとめ、考察するとともに、NOAEL や LOAEL の根拠や判断、またそれらに係る考察等について、記載する。NOAEL や LOAEL が得られない場合は、HOI を検討するための資料が必要となる。

(1) ヒトにおける影響の 1～7 の分類

ヒトへの有害影響につながる一連の事象の中で、栄養成分関連添加物の摂取が引き起こす測定可能な変化は、機能的に重要ではない生化学的影響から臓器機能の不可逆的な障害まで幅広いことから、ヒトにおける影響を次の 7 つに分類し、当該栄養成分関連添加物による影響がどれに該当するかを判断する。

- 1 恒常性の範囲内で後に続く有害影響(10)が示唆されない生化学的变化
- 2 恒常性の範囲外だが、後に続く既知の有害影響のない生化学的变化
- 3 恒常性の範囲外であって、過剰摂取による潜在的な有害影響のバイオマーカーとなる生化学的变化
- 4 軽度で可逆的な変化を示す臨床的特徴
- 5 重大であるが可逆的な影響の臨床的特徴
- 6 重大であるが可逆的な臓器損傷を示す臨床的特徴
- 7 不可逆的な臓器損傷を示す臨床的特徴

その結果、3（恒常性の範囲外であって、過剰摂取による潜在的な有害影響のバイオマーカーとなる生化学的変化）以上の変化を ULadd 等設定のための有害影響とする。なお、十分な情報がある場合は、2（恒常性の範囲外だが、後に続く既知の有害影響のない生化学的変化）を ULadd 等設定のための有害影響とできる。

（2）エビデンステーブルの作成等（A～C の分類）

得られたヒトにおける影響に関する知見について、次のような項目に関してまとめ、エビデンステーブルを作成する。なお、調査のエンドポイントに係る記載に当たっては、国際機関の評価書等を参考とすることができる。

- ・被験者の年齢、性別、健康状態及び人種的・民族的背景
- ・研究の規模
- ・対象とする栄養成分の特性
- ・摂取量
- ・摂取期間
- ・背景食由来の摂取量及び各摂取源（食品、サプリメント、飲料水）由来の摂取量（該当する場合）
- ・摂取評価方法
- ・調査のエンドポイント
- ・摂取量と反応（有害影響）の関係
- ・重要な有害影響の性質（選択したエンドポイント（バイオマーカー又は臨床的に観察される作用）の妥当性及び質的基準）
- ・影響の大きさ（摂取量、集団（乳児、小児、妊婦、授乳婦、高齢者等）及びその他の要因との関係）
- ・交絡因子（薬物の使用等）や効果修飾因子（感受性等）
- ・研究デザイン（RCT、コホート研究、症例対照研究等の別）
- ・評価したヒトにおける影響の1～7の分類
- ・評価した科学的水準（A～C の分類） など

エビデンステーブルに含める知見については、研究デザインと研究の質の程度に基づき、以下の A～C に分類する。なお、メタアナリシス及び症例報告に関しては、エビデンステーブル作成の対象には含めず、それぞれ別に取りまとめる。

A 研究の質が一定レベル以上であって、偶然性、バイアス、交絡因子が適切に制御された試験デザインの研究（例：無作為割付比較介入試験（RCT：Randomized Controlled Trial）、二重盲検法等により実施された研究）

B 研究の質が一定レベル以上であって、偶然性、バイアス、交絡因子が概ね制御された試験デザインの研究（例：コホート研究、症例対照研究）

C A 又は B に該当しない研究

=====（ここまで引用）=====

澤田専門委員：

「"copper supplementation" and metaanalysis」で、pubmed で検索したところ、以下の文献がありました。（<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33030656/>）

中身がみられていませんが、Data from 5 trials representing 176 participants were examined.

Cu supplementation has not affected blood lipids in the result of meta-analysis.

とのこと、5つの Trial に E-4 の論文が入っているかは不明で、確認したほうがいいかもしれません。

事務局より：

澤田専門委員より情報提供いただきました論文につきまして、要請者に提出を依頼するべきかご検討ください。

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

銅過剰症では肝機能障害、神経障害、精神障害、関節障害などが生じる可能性があります。脂質代謝異常、SOD 活性や血清セルロプラスミンの変化は、過剰で変化するのでしょうか？補給による欠乏の解消の結果変化する指標であると考えられますか？

【第 22 回 WG の記載】

事務局より：

第 21 回 WG の議論を踏まえ、ヒトにおける知見の項目に記載する知見を考慮しますと、エビデンステーブルは要請者から提出された概要書に記載の表 G-11 ではなく、表 E-4 や E-5 を中心にエビデンステーブルを作成することとなるかご検討ください。その場合、表に記載されている知見の内、どの知見をエビデンステーブルとして記載するべきかご検討ください。

加えて、各知見について、指針では「被験者の年齢、性別、健康状態及び人種・民族的背景」などの項目に関してまとめてエビデンステーブルを作成することとなっております。表 E-4 や E-5 では、そのすべての項目と 1 対 1 で対応してはおりませんが、試験の背景情報やエンドポイント、有害影響の結果などが示されており、概ね項目に当てはまっていると考えております。そのため、現在要請者から提出されている表 E-4 及び E-5 に加えて、追加の項目が必要かご確認いただきたく存じます。なお、「ヒトにおける影響の 1～7 の分類」及び「評価した科学的水準」については要請者から提出されておりませんので、先生方に各知見における上記 2 点については先生方にご検討いただき、エビデンステーブルに記載いただきたく存じます。

なお、第 21 回 WG 時に、澤田専門委員より、表 E-4 の Kessler の文献は除外し、Olivares らの文献は別の表にした方がよい旨コメントいただいております。加えて O'Donohue らの文献は、今回は対象にしなくてもよいといただいております。これを受け、当該文献はエビデンステーブルから外すこととなりますでしょうか。（O'Donohue らの文献は症例報告においても対象外と考えております。）

また、評価書案本文（2. ヒトにおける知見「（1）グルコン酸銅」～「（3）グルコン酸及びグルコン酸塩類」の項目）に記載する知見は、エビデンステーブルに記載の知見とするかどうか、御意見をお願いいたします。

澤田専門委員：

表 4 にあるもので、追加したほうが良いものは、以下の 1 編と思います。

Olivers 1998 表 20 にはありませんが、infant における飲料水の銅の摂取の違いで肝機能をみたものであるもので、掲載するのがいいのではないのでしょうか。その際、健常成人とは特性が異なるので、分けるのがいいかと思います。

Kessler 2008 については、前回会議で、アルツハイマー型認知症患者なので削除がいいか、とコメントしましたが、この論文は、銅サプリメントとアルツハイマー型認知症患者における認知機能の改善との関連 MMSE を見たもので、調査過程の安全評価として肝機能に異常はないことを確認しています。副次的な情報として数値はないのですが、残してもいいかもしれません。数値が無いので、参考でもいいかもしれません。

エビデンステーブルにあっても本文にないものは、なぜだろうとは思いますが、なるべく対応させるのが良いかと思います。ただ、エビデンステーブルのほとんどが影響なし、かと思うので、「エビデンステーブルにある XX 件の研究においては影響が見られなかったため、過去の評価書で報告されていたものを中心に記述する」、として抜粋して記述するのは良いかと思います。一方で、本文に記載があるものは、エビデンステーブルにあるほうが良いと思います。介入試験（Turnlund ら（1990）が、エビデンステーブルに無いように思います。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、表を修正いたしました。なお、乳児に関する知見である Olivares（1998）については表 21 を新しく作成いたしました。

また、エビデンステーブルに記載の知見を本文にも記載する方向で追って記載を整備いたします。

事務局より：

補足資料として指定等要請者よりエビデンステーブルが提出されており、それを基に表 20～表 24 を評価書案に記載しております。追加・削除すべき知見がないかご確認お願いいたします。

また、「ヒトにおける影響の分類」及び「科学的水準」について、指針に基づきご判断いただけますと幸いです。

澤田専門委員：

表 22 の Dieter らの知見について、銅の慢性的かつ過剰な摂取が原因と疑われた 8 例のうち、5 例では、とした方がわかりやすいと思いました。

表 23 の O'Donohue らの知見について、アブストラクトにある、肝硬変、を追記するのが良いと思います。

事務局より：

ご指摘の点を修正いたしました。

上西専門参考人：

澤田先生のコメントは適切だと思います。

その他、特に気が付いた点はなどはありません。

表 20 グルコン酸銅の介入試験

<u>対象者の属性 及び被験者数</u>	<u>被験物質 及び投与 形態</u>	<u>投与量（記載が ない場合は銅 として）及び投 与期間</u>	<u>背景食由来の 銅摂取量及び 摂取評価方法</u>	<u>試験結果（有害影響）</u>	<u>研究デ ザイン</u>	<u>交絡因子及び効果修 飾因子</u>	<u>ヒトにお ける影響 の分類及 び科学的 水準</u>	<u>参考文献</u>
成人の腰痛患 者 14 名（銅摂 取群は男性 3 名、女性 4 名、 平均 42 歳）、 米国	グルコン 酸銅、カ プセル剤	10 mg/ 日 (BID)、12 週 間	記載なし	ヘマトクリット、MCV、ト リグリセリド、SGOT、 GGT、LDH、コレステロ ール及びアルカリホスフ ァターゼの値はグルコン 酸銅投与群とプラセボ群	二重盲 検プラ セボ対 照試験	記載なし	1 A	Pratt ら (1985) (参照 68)【84 (グルコ ン酸銅

				で差はなかった。血清カリウム濃度が有意に低下した。 吐き気、下痢及び胸やけの副作用は、グルコン酸銅投与群とプラセボ群の被験者で同等であった。				(第1版) 28]
--	--	--	--	---	--	--	--	--------------

1
2
3

表 21 ~~グルコン酸銅に関するヒトにおける知見のエビデンステーブル（銅塩類の介入試験研究、成人）（案）（概要書の表 E-4：安~~
全性エンドポイントを扱った介入研究を一部改変）

対象者の属性 及び被験者数	被験物質 及び投与 形態	投与量（記載が ない場合は銅 として）及び投 与期間	背景食由来の 銅摂取量及び 摂取評価方法	試験結果（有害影響）	研 究 デ ザイン	交絡因子及び効果修 飾因子	ヒトにお ける影響 の分類及 び科学的 水準	参考文献
健康成人に関する知見								
健康若齢男 性、11 名、 22～35 歳、米 国	硫酸銅、 水溶液を ミルクに 添加	総銅摂取量： MPI (24 日間) 1.68 mg/日 MPIII (42 日間) 0.79 mg/日、 MPIII (24 日間) 7.53 mg/日	0.4 mg/日、試 験期間中は銅 含有量を目標 値に調整した 食事を供与	血漿銅濃度、セルロプラス ミン濃度、赤血球 SOD 活 性は食事の銅の量によ る影響を受けなかった	単 群 介 入試験	試験期間中の薬物使 用はなし。一部の被験 者に試験開始前のアル コール、喫煙、娯楽 用薬物使用があり初 期の測定値に影響し た可能性があると言 われている。	1 C	Turnlund ら (1990) (参 照 53)【149 (硫酸銅 87)】
健康成人男 性、11 名、 20～59 歳、英 国	硫酸銅、 水溶液、 食事とと もに摂取	中等量 (1.6 mg/ 日)、低量 (0.7 mg/日)、高量 (6.0 mg/日) を それぞれ最低 4 週間のウォッ シュアウト期 間を挟んで 8 週	0.7 mg/日、研 究期間中は銅 含有量を一定 に調整したメ ニューローテ ーションで食 事を供与	尿中 Pyr/Cr 比 及 び Dpyr/Cr 比は銅摂取量を 中等量から低量に切り替 えたときに有意に増加し、 低量から高量に切り替え たときに有意に減少した。 尿中 Cr、血清銅濃度、セ ルロプラスミン、オステオ	介 入 研 究	骨疾患又は関節疾患 の既往歴はなく、骨又 は軟骨代謝に影響を 与える可能性のある 薬剤の服用はなかつ た。慢性疾患、喫煙、 栄養補助食品の摂取 者は除外した。	1 C	Baker ら (1999) (参 照 69)【152】

		<u>間摂取</u>		<u>カルシンは銅摂取量の影響を受けなかった。</u>				
<u>健康成人女性、60名、チリ</u>	<u>硫酸銅、水溶液</u>	<u>0、1、3、5 mg/L をランダムな順でそれぞれ 1 週間のウォッシュアウト期間を挟んで各 2 週間摂取、計 11 週間</u>	<u>1.5～1.9 mg/日、24 時間食事思い出し法</u>	<u>21 名が胃腸障害（9 名が下痢、12 名が腹痛、吐き気、あるいは嘔吐）を呈した。銅を添加していない水を摂取した被験者では下痢を発症せず、銅の濃度と下痢の間に関連性はなかったが、腹痛、吐き気、嘔吐のいずれかを発症した回数は 3 及び 5 mg/L で有意に増加した。下痢は、試験の早期に発生してその後減少したのに対し、腹痛、吐き気、嘔吐の時間分布は試験期間を通して変わらなかった。血清銅濃度、セルロプラスミン、肝酵素活性には影響はなかった。</u>	<u>二重盲検プラセボ対照クロスオーバー試験</u>	<u>妊娠中又は授乳中ではないことを確認。月経、アルコール摂取、食物不耐性などの交絡変数は、ラテン方格法による銅濃度摂取順序割り付けにより制御。</u>	<u>4 A</u>	<u>Pizarro ら（1999）（参照 70）【81】</u>
<u>健康成人、24 名（男性 12 名、女性 12 名、22～45 歳）、北アイルランド</u>	<u>硫酸銅又は銅グリシンキレート、サプリメント</u>	<u>硫酸銅 3 mg/日、銅グリシンキレート 3 mg/日及び 6 mg/日、6 週間摂取後にプラセボを 6 週間摂取（ウォッシュアウト期間）</u>	<u>男性 1.43 ± 0.10 mg/日、女性 1.03 ± 0.10 mg/日、食事歴面接法</u>	<u>酸化ラグタイム、相対的電気泳動移動度及びセルロプラスミンオキシダーゼ活性に有意な変化は認められなかった</u>	<u>多施設共同二重盲検プラセボ対照クロスオーバー試験</u>	<u>喫煙者、薬剤・ビタミン・ミネラルサプリメントの服用者、BMI30 以上の肥満者、高血圧者は除外</u>	<u>1 A</u>	<u>Turley ら（2000）（参照 71）【80】</u>
<u>健康成人、男性 11 名（20～59 歳）、イング</u>	<u>硫酸銅、水溶液、食事と</u>	<u>中等量（1.6 mg/日）、低量（0.7 mg/日）、高量</u>	<u>1.39 ± 0.14 mg/日、3 日間の食事記録法</u>	<u>酸化ラグタイム、相対的電気泳動移動度及びセルロプラスミンオキシダーゼ</u>		<u>喫煙者、臨床検査値が正常範囲を超える者、骨又は関節疾患の既</u>		

<u>ランド</u>	<u>もに摂取</u>	<u>(6.0 mg/日) をそれぞれ最低 4 週間のウォッシュアウト期間を挟んで 8 週間摂取</u>		<u>活性に有意な変化は認められなかった</u>		<u>往歴がある者、薬剤・ビタミン・ミネラルサプリメント服用者は除外</u>		
<u>健康成人、女性 16 名 (18～30 歳)、デンマーク</u>	<u>硫酸銅、サプリメント</u>	<u>硫酸銅として 0、3、6 mg/日をそれぞれ最低 3 週間のウォッシュアウト期間を挟んで 4 週間摂取</u>	<u>評価せず</u>	<u>酸化ラグタイム、相対的電気泳動移動度及びセルロプラスミンオキシダーゼ活性に有意な変化は認められなかった。</u> <u>血清銅濃度が有意に上昇した。</u>		<u>喫煙者、妊婦、授乳婦、薬剤・ビタミン・ミネラルサプリメント服用者、BMI30 以上の肥満者、既知の疾患がある者、競技スポーツ選手は除外</u>		
<u>健康成人、28 名 (男性 14 名、女性 14 名、50～72 歳)、フランス</u>	<u>硫酸銅又は銅グリシンキレート、サプリメント</u>	<u>硫酸銅 3 mg/日、銅グリシンキレート 3 mg/日及び 6 mg/日、6 週間摂取後にプラセボを 6 週間摂取 (ウォッシュアウト期間)</u>	<u>男性 1.41 ± 0.37 mg/日、女性 1.22 ± 0.33 mg/日、7 日間食事摂取記録 (重量測定法)</u>	<u>酸化ラグタイム、相対的電気泳動移動度及びセルロプラスミンオキシダーゼ活性に有意な変化は認められなかった</u>		<u>喫煙者、慢性疾患のある者、薬剤・栄養補助食品の服用者は除外</u>		
<u>健康成人、26 名 (登録数男性 14 名、女性 14 名、50～70 歳)、北アイルランド</u>	<u>硫酸銅又は銅グリシンキレート、カプセル剤</u>	<u>硫酸銅 3 mg/日、銅グリシンキレート 3 mg/日及び 6 mg/日、6 週間</u>	<u>男性 1.41 ± 0.37 mg/日、女性 1.22 ± 0.33 mg/日、自由選択食を食事歴調査により推定</u>	<u>硫酸銅摂取後の LT₅₀ はウォッシュアウト期間終了時と比較して有意に増加し、赤血球が AAPH 誘発酸化に抵抗性を示したことを表した。銅グリシンキレート 3 mg/日摂取後の LT₅₀ はプラセボ期間と比較して有意な変化は認められなかったが、6 mg/日では有意に上昇した。赤血</u>	<u>二重盲検クロスオーバー試験</u>	<u>急性又は慢性疾患がないこと、薬剤や栄養剤を服用していないことを確認</u>	<u>1 A</u>	<u>Rock ら (2000) (参照 72) 【79】</u>

				球 SOD 活性、 α -トコフェロール、 γ -トコフェロール、レチノール、ルテインのレベルに有意な変化は認められなかった				
健康成人、男性 12 名、20～59 歳、英国	硫酸銅、食事に添加	0.7、1.6、6.0 mg/日をそれぞれ最低 4 週間のウォッシュアウト期間を挟んで 8 週間摂取	0.69 $\pm$ 0.02 mg/日、原子吸光分光法	赤血球 SOD 活性、血清銅濃度、血清セルロプラスミン、血漿セルロプラスミン活性、血小板凝集率、血漿リポタンパク質(総コレステロール、HDL 及び LDL)、トリアシルグリセロール、アポリポタンパク質 A1 及び B、グルタチオンペルオキシダーゼ活性、ヘマトクリット、ヘモグロビン、平均赤血球ヘモグロビン濃度、フェリチンに銅摂取の影響は認められなかった。	無作為クロスオーバー試験	生化学的及び血液学的指標が正常範囲を超える者、慢性疾患、薬剤・栄養補助食品の服用者、喫煙者は除外	1 A	Harvey ら (2003) (参照 50) 【61 (硫酸銅 54)】
健康成人、22 名 (男女各 11 名、33.5 $\pm$ 2.6 歳)、英国	硫酸銅又は銅グリシンキレート、サプリメント	硫酸銅 3 mg/日、銅グリシンキレート 3 mg/日及び 6 mg/日、6 週間摂取後にプラセボを 6 週間摂取 (ウォッシュアウト期間)	男性 1.43 $\pm$ 0.1 mg/日、女性 1.03 $\pm$ 0.1 mg/日、食事歴調査により推定	銅摂取は肝機能 (血漿 ALT、 γ -GT) 及びコメットアッセイによる単核白血球の DNA 損傷に影響を及ぼさなかった。	二重盲検クロスオーバー試験	喫煙者、薬剤・栄養補助食品の服用者、急性・慢性疾患の患者、BMI>27 の肥満者は除外	1 A	O'Connor ら (2003) (参照 73) 【78 (硫酸銅 88)】
健康成人、男性 9 名、38 $\pm$ 7 歳、米国	硫酸銅、サプリメント又は水溶液	期間 1: 補給無し、18 日間 自由生活期間:	1.6 mg/日、研究開始前 5 日間と自由生活期間 5 日間の	赤血球 SOD、セルロプラスミン、血漿銅濃度、尿中銅濃度、毛髪銅濃度、尿中 TBARS は期間 1 と比較し	単群前後比較試験	病歴、血液・尿・腸内寄生虫・心電図・心理学検査によるスクリーニング、身長別体重	3 C	Turnlund ら (2004) (参照

		<u>7 mg/日、129 日間</u> <u>期間 2 :</u> <u>6.2 mg/日、18 日間</u>	<u>食 事 記 録 か</u> <u>ら、栄養デー</u> <u>タシステム</u> <u>NDSR (バー</u> <u>ジョン 4.01)</u> <u>を用いて推定</u>	<u>て期間 2 で有意に高かつ</u> <u>た。両期間で総白血球数に</u> <u>大きな変化はなかったが、</u> <u>期間 2 で好中球比率が有</u> <u>意に減少、リンパ球比率が</u> <u>有意に増加し、IL-2R の濃</u> <u>度は有意に低下した。イン</u> <u>フルエンザワクチン接種</u> <u>後の抗体価が対照と比較</u> <u>してわずかな上昇にとど</u> <u>まった。</u>		<u>が正常値の 20%を超</u> <u>える者、医薬品の服用</u> <u>者、薬物乱用、喫煙の</u> <u>該当者は除外</u>		<u>74) 【83】</u>
<u>特定の集団に関する知見</u>								
<u>健康乳児、3～</u> <u>12 か月 齢、</u> <u>128 名、チリ</u>	<u>硫酸銅、</u> <u>水溶液</u>	<u>グループ I :</u> <u>248.1 ～ 318.7</u> <u>μg/kg 体重/日、</u> <u>グループ II :</u> <u>122.7 ～ 157.8</u> <u>μg/kg 体重/日、</u> <u>グループ III :</u> <u>52.2 ～ 179.0</u> <u>μg/kg 体重/日、</u> <u>グループ IV :</u> <u>37.8 ～ 174.1</u> <u>μg/kg 体重/日、</u> <u>9 か月間</u>	<u>記載なし (左</u> <u>記のグループ</u> <u>I 及び II は粉</u> <u>ミルク中の銅</u> <u>含有量を足し</u> <u>た値、グルー</u> <u>プ III 及び IV は</u> <u>母乳中の銅含</u> <u>有量を測定し</u> <u>ていないた</u> <u>め、水からだ</u> <u>けの摂取量)</u>	<u>乳児の成長と罹患エピソードに差は見られず、銅の</u> <u>状態及び肝機能検査結果</u> <u>にも差はなかった。高銅含</u> <u>有飲料水群 (グループ I +</u> <u>III) と低銅含有飲料水群</u> <u>(グループ II + IV) で比較</u> <u>すると、9 か月齢時点での</u> <u>セルロプラスミン活性が、</u> <u>高銅含有飲料水群において有意に高かった。</u>	<u>無 作 為</u> <u>化 比 較</u> <u>試験</u>	<u>出生時体重 2,000 g 以</u> <u>下は除外</u>	<u>1</u> <u>A</u>	<u>Olivares</u> <u>ら</u> <u>(1998)</u> <u>(参 照</u> <u>75) 【88】</u>
<u>軽度アルツハ</u> <u>イマー病 患</u> <u>者、68 名、ド</u> <u>イツ</u>	<u>銅 (II)- オ</u> <u>ロチン酸</u> <u>二 水 和</u> <u>物、カプ</u> <u>セル剤</u>	<u>銅として 8 mg/</u> <u>日、12 か月</u>	<u>記載なし</u>	<u>ADAS-cog スコア 及び</u> <u>MMSE スコアはどの時点</u> <u>においても 2 群間に有意</u> <u>な差はなかった。血漿銅濃</u> <u>度は実薬群が濃度を維持</u> <u>したのに対し、プラセボ群</u> <u>では時間の経過とともに</u> <u>低下した。患者の肝機能及</u>	<u>無 作 為</u> <u>二 重 盲</u> <u>検試験</u>	<u>試験期間中も AD 薬</u> <u>ドネペジル 5 ～ 10</u> <u>mg/日の服用を継続。</u> <u>重度で安定しない身</u> <u>体疾患のある患者、ア</u> <u>ルコール・薬物の乱用</u> <u>歴のある患者は除外。</u> <u>併存疾患の治療薬の</u>	<u>1</u> <u>A</u>	<u>Kessler</u> <u>ら</u> <u>(2008)</u> <u>(参 照</u> <u>76) 【82】</u>

				び血液学的検査では、いずれの時点においても有意な変化は認められなかった。		うち、向精神薬、脳サブリメント (Nootropics)、健康食品サブリメントの服用者は除外。		
--	--	--	--	--------------------------------------	--	---	--	--

参照文献	試験デザインと対象	試験期間	銅の投与形態	調査した安全関連パラメーター	銅の状態を示すマーカー	肝臓酵素	酸化損傷マーカー	他の有害作用	科学的水準	ヒトにおける影響の分類
Harveyら, 2003 (参照49) 【61 (硫酸銅 54)】	代謝研究 12 か月 (20–59 歳)	期間 1: 8 週 期間 2: 8 週 期間 3: 8 週 間の休業期間 ≥ 4 週以上	期間 1: 総 Cu 1.6 mg / 日 期間 2: 総 Cu 0.7 mg / 日 期間 3: 総 Cu 6.0 mg / 日 全期間中、食事には 0.7 mg Cu / 日を含有; 追加の Cu を CuSO ₄ (液剤) として供給	血清 Cu、CP、eSOD 血小板凝集、ヘマトクリット値、Hb、平均 Hb 濃度、血漿リポ蛋白、トリアシルグリセロール、血漿アポ A1 及び B、赤血球 及び 血小板 GP、血清フェリチン	血漿 Cu、CP、eSOD: 影響なし	=	血漿、赤血球、血小板 GPx: 影響なし	血小板種、リポ蛋白 (総、HDL、LDL-コレステロール)、トリアシルグリセロール、アポ A1 及び B: 影響なし Hb、平均 Hb 濃度 及び ヘマトクリット値、: 影響なし		
Bakerら, 1999 (参照 81) 【152】	縦断的介入試験 健康男性 11 名 (20–59 歳)	8 週 / 期間 間の休業期間 4 週	期間 1: 総 Cu 1.6 mg / 日 期間 2: 総 Cu 0.7 mg / 日 期間 3: 総 Cu 6 mg / 日 Cu 0.7 mg / 日に制限された食事に追加の Cu を CuSO ₄ (溶液) として供給	血清 Cu、CP 血清オステオカルシン (骨形成) 尿中ピリジノリン 及び デオキシピリジノリン (骨吸収) 尿中クレアチニン 血算 (白血球、赤血球、Hb、ヘマトクリット、血小板) 臨床検査 (Na、K、重炭酸、尿素、クレアチニン、総ビリルビン、総たん白、ア	血清 Cu、CP: 影響なし	報告なし	=	骨代謝の生化学マーカー: 影響なし 尿中クレアチニン: 影響なし		

				ルブミン、グロブリン、LDH、AST、ALT、ALP、GGT、Ca、P、総コレステロール、血糖)						
O'Connorら, 2003 (参照 68) 【78】 (硫酸銅 88)	三重盲検クロスオーバー試験 健康男性及び女性 24 名 (22 名完子、男性 11 名及び女性 11 名) (22-45 歳)	6 週/期間	期間 1: CuSO ₄ として 3 mg/人/日 期間 2: プラセボ 期間 3: ゲルコン酸銅 (CuGC) として 3 mg/人/日 期間 4: プラセボ 期間 5: CuGC として 6 mg/人/日 期間 6: プラセボ パッタグラウンド食に加えて投与、パッタグラウンド食は男性 1.43 ± 0.1 mg/人/日、女性 1.03 ± 0.1 mg/人/日の Cu を含有	eSOD、白血球 SOD 血小板及び白血球シトクロム c オキシダーゼ活性 血漿 CP 血清 DO 肝酵素 (GGT、ALT) DNA 損傷 (コメットアッセイ、エンドヌクレアーゼ有無)	CP、eSOD: 影響なし 血清 DO: ↑ Cu 投与の 3 期間後 白血球シトクロム c オキシダーゼ: ↑ CuGC 6 mg/人/日投与後 (データ未掲載)	GGT、ALT: 影響なし	DNA 損傷: 影響なし (各期間で 4-6 名分の評価サンプル紛失)	=		
Rockら, 2000 (参照 82) 【79】	三重盲検クロスオーバー試験 健康男性 13 名及び女性 13 名 (50-72 歳)	6 週/期間 期間の休業期間 6 週	期間 1: CuSO ₄ として 3 mg/人/日 期間 2: プラセボ 期間 3: CuGC として 3 mg/人/日 期間 4: プラセボ 期間 5: CuGC として 6 mg/人/日 期間 6: プラセボ パッタグラウンド食に追加パッタグラウンドの平均 Cu 摂取量は男性 ~1.4 mg/日及び女性 ~1.2 mg/日	赤血球抗酸化 (AAPH 誘導酸化、in-vitro 試験) 血漿脂溶性ビタミン eSOD	eSOD: 影響なし	=	赤血球酸化: ↑ (CuSO ₄ 3 mg/人/日及び CuGC 6 mg/人/日投与後の溶血半減期 (LT50)) 血漿トコフェロール、レチノ	=		

							ール、ルテイン：影響なし 血漿リコピン、血漿α-及びβ-カロテン： ↓CuGC3-mg/人/日投与後			
Turleyら、2000（参照83）【80】	三重盲検クロスオーバー試験（4施設、異なる用量）健常男女24名（22=45歳）〔北アイerland〕	6週/期間	CuSO ₄ として3-mg/人/日まで、その後CuGCとして6-mg/人/日までの用量で、バックグラウンド食に追加、プラセボ期間と比較 バックグラウンド食は男性1.43-mg/人/日及び女性~1.03-mg/人/日のCuを含有	血清/血漿Cu（デンマーク、フランス） 血漿CP（全施設） 酸化誘導に対するLDL感受性in vitro試験（全施設）	血清/血漿Cu：CuSO ₄ 3-mg/人/日後及びCuSO ₄ 6-mg/人/日後↑（デンマーク）；影響なし（フランス） 血漿CP：全施設で影響なし	=	Cuまたはペルオキシ亜硝酸による酸化に対するLDL感受性：影響なし	=		
	同試験—健常男性11名（20-59歳）〔イギリス〕	8週/期間 各期間の間に4週間以上旧約	0.7-mg/人/日のCuを含む調整食に総Cu、6-mg/人/日まで調整食にCuSO ₄ （溶液）を追加							
	同試験—健常女性16名（18-30歳）〔デンマーク〕	4週/期間 各期間の間に3週間	CuSO ₄ として6-mg/人/日まで漸増 バックグラウンド食に追加（バックグラウンド食Cu含量不明）							

		以上休 薬								
	同試験—男性 14名及び女性 14例—(50-72 歳)—[フラン ス]	6週/期 間	~~CuSO₄として3mg/人/日まで、~~ ~~その後CuGCとして6mg/人/日~~ ~~までの用量で、バックグラウンド食に~~ ~~追加、プラセボ期間と比較、平均~~ <del>Cu摂取量は男性~1.4mg/人/</del> <del>日及び女性~1.2mg—/人/日</del> ~~(Rockら, 2000)~~							
Turnlundら, 2004 (参照 84)—【83】—	代謝試験 男性9名 (26-49歳)	期間 1: 18日 期間 2: 129日 期間 3: 18日	期間 1: 総Cu1.6mg/人/日の 調整食 期間 2: 通常食 + 7mg/人/日 Cuサプリメント 期間 3: 総Cu7.8mg/人/日 期間 1 及び 3 では、食事に Cu1.6mg/人/日を含有; 期間 3は調整食にCuSO ₄ (液剤)と してCuを追加 期間 2では、被検者はCuSO ₄ として7mg/日Cuをサプリメ ントで摂取	血漿Cu、CP及び eSOD、—血漿ベン ジルアミノオキシ ダーゼ 血漿マロンジアル デヒド(MDA)、—尿 中チオパルピツ ェル酸反応性基質 (TBRAS) 各期間中の14日目 に1gのビタミンC 投与後に血漿アス コルビン酸塩及び デヒドロアスコル ビン酸塩測定 血算および白血球 分画 血清IL-2R、IL-6; IgG及びC3 遅延型皮膚過敏反 応(7種のリコール 抗原) 全被験者は、10名 の対照群とともに、	eSOD: ↑ 期間3 vs 期間1 血漿ベンジルア ミノオキシダー ゼ活性: ↑ 期間 3 vs 期間1 CP活性: ↑ 期 間3 vs 期間1 尿中Cu: ↑ 期 間3 vs 期間1 毛髪銅↑ 期間 3 vs 期間1 血漿Cu: 影響な し	=	血漿MDA: 影響なし 尿——中 TBRAS: ↑ 期間3 vs 期間1 血漿アス コルビン 酸塩及び デヒドロ アスコル ビン酸塩: 影響なし	多核白血球(総 数、分画%): ↓ 期間3 vs 期間1 リンパ球: ↑ 期 間3 vs 期間1 IL-2R: ↓ 期間3 vs 期間1 血清インフルエ ンザ抗体価: ↓ 試験群 vs 対照 群 WBC 総数, IL-6, IgG and C3: 影 響なし 遅延型皮膚過敏 反応: 影響なし		

				高用量銅摂取期間の終了2週前にインフルエンザワクチンを接種し、14日後に抗体価を測定						
Pizarroら, 1999 (参照85)【81】	ランダム化比較クロスオーバー試験(ラテン方格法)健康成人女性60名	2週/期間 各期間の間に1週間水道水でウォッシュアウト	バットグラウンド食に加えてCuSO ₄ を水に添加して摂取; 水からの摂取Cu量平均±標準偏差(括弧内は飲料水へのCu添加量): 期間1: 0.04 ± 0.02 (0 mg/L 水) 期間2: 1.74 ± 0.66 (1 mg/L 水) 期間3: 4.68 ± 2.24 (3 mg/L 水) 期間4: 7.94 ± 2.69 mg/L/日 (5 mg/L 水) 平均バットグラウンド食からのCu摂取量: 1.7 mg/L/日	消化器症状 血清Cu, CP及びGGT, ALT, AST Hb	血清Cu, CP: 影響なし	GGT, ALT, AST: 影響なし	=	Hb: 影響なし 吐き気、嘔吐、腹痛: ↑ Cu ≥ 3 mg/L に対して 頭痛、流涎: 有意差なし↑		
Kesslerら, 2008a (参照86)【82】 (参考資料※)	前向き二重盲検第三相臨床試験 軽度のアルツハイマー病患者68名; グループ1 33名 (69.5 ± 1.4歳); グループ2 35名 (70.4 ± 1.1歳)	12ヵ月	グループ1: プラセボ グループ2: オロチン酸銅(II)2水和物としてCu 8 mg/dayを食事(銅含量不明)に追加	血清Cu, Zn, CP, 肝臓酵素 ・脳脊髄液中のアミロイドβ42とタウタンパク及びリン酸化タウ認知機能試験 有害事象記録	血清Cu, CP: 影響なし	肝臓酵素: 影響なし		血液学的パラメーター: 影響なし アルツハイマー病評価指標(認知スケール)または精神状態検査(MMSE検査): 群間差なし		

Prattら、 1985（参照 67）【84（グ ルコン酸銅 （第1版） 28）】	三重盲検プラ セボ対象試験 グループ1: 成 人7名（男性3 名及び女性4 名 （平均年齢42 歳） G2: 成人7名	12週	グループ1: CuGCとしてCu10 mg/人/日をカプセルで摂取 グループ2: プラセボカプセル バックグラウンド食(Cu量不 明)に追加	血清Cu; 毛髪Cu HTC, MCV及び生 化学検査（トリグ リセリド、コレス テロール、AST、 GGT、LDH、ALP、K、 Mg、Zn） 報告された副作用	血清Cu: 影響な し 毛髪Cu: 影響な し	AST, GGT, LDH, ALP: 影響なし	=	HTC, MCV及び 生化学検査: 影 響なし 吐き気、下痢、胸 やけ: グループ 間で違いなし		
Turnlundら、 1990（参照 51）【149（硫 酸銅87）】	介入試験 健康成人男性 12名（22～35 歳）	期間1: 24日 期間2: 42日 期間3: 24日	期間1: 総Cu 1.68 mg/人/日 の調整食 期間2: 総Cu 0.79 mg/人/日 の調整食 期間3: 総Cu 7.53 mg/人/日 の調整食 食事の銅濃度は、基本色に硫 酸銅を添加して調整	血漿中の銅濃度、セ ルロプラスミン濃 度、赤血球中のス ーパーオキシドジス ムターゼ(SOD)活 性	いずれも影響な し	=	=	=		
↑: 有意な上昇; ↓: 有意な減少 2,2' アゾビス(2-メチルプロピオンアミジン)ニ塩酸塩; ALP: アルカリホスファターゼ; ALT: アラニントランスアミナーゼ; アポリポrotein; BF: 母乳; Ca: カルシウム; CP: セルロプラスミン; CSF: 脳脊髄液; Cyt c: シ トクロムc; CuGC: グルコン酸銅; DNA: デオキシリボ核酸; DO: ジアミンオキシダーゼ; eMT: 赤血球メタチオネイン; eSOD: 赤血球スーパーオキシド・ディスムターゼ; FF: 人乳; GGT: γ-グルタミルトランスフェ ラーゼ; Hb: ヘモグロビン; GPx: グルタチオンペルオキシダーゼ; HDL: 高比重リポタンパク; HTC: ヘマトクリット値; IgG: 免疫グロブリンG; IL: インターロイキン; K: カリウム; LDH: 乳酸脱水素酵素; LDL: 低比 重リポタンパク; MCV: 平均赤血球容積; MDA: マロンジアルデヒド; Na: ナトリウム; ND: 不明; NR: 未報告; RBC: 赤血球; SD: 標準偏差; SGOT: 血清グルタミン酸・オキサロ酢酸トランスアミナーゼ(=AST: アスパラギン酸アミノ基転移酵素); SGPT: グルタミン酸ピルビン酸トランスアミナーゼ(ALT: アラニンアミルトランスフェラーゼ); SOD: スーパーオキシド・ディスムターゼ; TBARS: チオバルビツール酸反応性物質; WBC: 白血球; Zn: 亜鉛.										

注1) Kesslerら(2008)は銅サプリメントとアルツハイマー型認知症患者における認知機能の改善との関連MMSEを見たもので、調査過程の安全評価として肝機能に異常はないことを確認しているが、数値がないため参考資料とした。

表 20 グルコン酸銅に関するヒトにおける知見のエビデンステーブル（介入研究、乳児）（案）（概要書の表 E-4：安全性エンドポイントを取った介入研究を一部改変）

参照文献	試験デザイン と対象	試験期 間	銅の投与形態	調査した安全関連 パラメーター	銅の状態を示す マーカー	肝臓酵素	酸化・損傷 マーカー	他の有害作用	科学的 水準	ヒトにおける影 響の分類
------	---------------	----------	--------	--------------------	-----------------	------	---------------	--------	-----------	-----------------

1
2

1 表 22 グルコン酸銅に関するヒトにおける知見のエビデンステーブル（観察研究）（案）（概要書の表 E-5：観察研究）

<u>対象者の属性及び被験者数</u>	<u>調査期間</u>	<u>銅の摂取量及び摂取評価方法</u>	<u>研究結果</u>	<u>交絡因子及び効果修飾因子</u>	<u>研究デザイン</u>	<u>ヒトにおける影響の分類及び科学的水準</u>	<u>参考文献</u>
<u>水道水中の銅濃度が 高い地域の 0～5 歳 の小児、2,788 例 (64,124 人年)、米 国</u>	<u>1969～1991 年</u>	<u>銅を 8.5 mg/L 含む水道水を摂 取、1992 年 7～12 月に飲料水 中の銅濃度を分析</u>	<u>全死因 135 例のうち肝疾 患による死亡はなし。</u>	<u>記載なし</u>	<u>後ろ向き 観察研究</u>	<u>1 B</u>	<u>Scheinberg と Sternlieb (1994) (参照 77) 【93】</u>
<u>銅配管で水道水が供 給されている家庭 956 世帯の乳児、総 人数記載なし、ドイ ツ</u>	<u>3 か月 齢～ 12 か月 齢ま で</u>	<u>被験者が 3 か月 齢時点での水 道水（朝の停滞水及び日中の 無作為サンプリング水）中の 銅濃度を原子吸光分光法で測 定。（母乳・ミルク以外の食品 の摂取量は調査されたが、原 著に記載なし）</u>	<u>高曝露群に該当する 12 名中、検査を実施した 10 名の乳児のすべてで肝疾 患の徴候は認められなか った。</u>	<u>記載なし</u>	<u>前向きコ ホート研 究</u>	<u>1 B</u>	<u>Dassel de Vergara ら (1999) (参照 78) 【92】</u>
<u>小 児 期 肝 硬 変 (ECC) 症 例 103 例、発症時月 齢：1～ 60 か月 齢、ドイツ</u>	<u>1982 年～ 1994 年</u>	<u>飲料水の供給源から水質デー タを受領し、飲料水の基本容 量から腐食性を考慮して銅濃 度を推定</u>	<u>~~銅以外の病因を除く 8 例 で銅中毒が疑われ、銅の 慢性的かつ過剰な摂取が 原因と疑われた 8 例のう ち、5 例では、飲料水中の 銅濃度が 1 例を除いて 9.0～26.4 mg/L と高く、 肝臓の銅濃度が非常に高 いことが証明され、慢性 銅中毒が原因と考えられ た。~~</u>	<u>授乳方法（母 乳／粉ミル ク）、ウイル ス感染（サイ トメガロウ イルス、B 型 肝炎ウイル ス）</u>	<u>他施設共 同後ろ向 き観察研 究</u>	<u>7 B</u>	<u>Dieter ら、 (1999) (参照 79) 【94】</u>
<u>ベルリンの公共水道 から飲料水を供給さ</u>	<u>1998 年 6 月 ～2001 年 3</u>	<u>水道水を使用の都度 100 mL を採取したサンプル 1 の平均</u>	<u>肝臓の触診、超音波検査、 血液検査（血清銅濃度、</u>	<u>食事/授乳記 録は作成さ</u>	<u>横断研究</u>	<u>1 B</u>	<u>Zietz ら (2003) (参照</u>

れている家庭のうち、銅濃度が高かった家庭の乳児 517 名、8～10 か月齢、ドイツ	月(水道水分析)	が 0.44 mg/L、朝・昼・夕方・就寝前に 250 mL ずつ採取したサンプル 2 の平均が 0.56 mg/L、原子吸光分光法	セルロプラスミン、免疫グロブリン、GOT、GPT、GGT、総ビリルビン、CRP) において、肝機能及び健康への悪影響は認められなかった。	れておらず、食品中の銅含有量も不明。また、各家庭の社会経済的分析は行われていない。			80) 【91】
--	----------	--	--	---	--	--	----------

1

参考文献	試験デザインと対象	試験期間	銅の投与形態	調査した安全関連パラメーター	結果のまとめ	科学的水準	ヒトにおける影響の分類
Dassel—de Vergara—ら、1999 (参照 88)—【92】—	銅管で供給された飲料水を使用する乳児を有する 956 世帯の横断的調査	NA—不明	836 世帯 (87.4%): 水サンプル中—Cu—0.5 mg/L 未満 83 世帯: 水サンプル中—Cu—0.5 mg/L—以上(うち 38 世帯が 0.8 mg/L; 最高 2.6 mg/L)	生後 12 か月間に 12 週までの母乳を受けた、または、Cu 0.8 mg/L—以上の水道水を 200 mL—以上—摂取した乳児 8 名: 触診と超音波検査による肝臓検査 血液検査 (血清 Cu, セルロプラスミン, 免疫グロブリン (IgG, IgM, IgA), トランスアミナーゼ (GOT, GPT), GGT, 総ビリルビン及び CRP)	肝疾患: 肝臓の触診及び超音波検査では、どの小児にも徴候は見られなかった 8 か月齢の 1 名; 血清銅値正常以上; CRP—の軽度上昇が見られたが、他のパラメーターは正常であった。		
Dieter—ら、1999 (参照 89)—【94】—	ドイツにおける小児期早期の肝硬変 103 例を対象とした後ろ向き研究	1984 年—1994 年	飲料水中の Cu 含量	組織学的に確定された小児期早期の肝硬変	5 例が銅の慢性的及び過剰摂取と関連すると考えられた (肝臓の銅含量高値がありと銅配管/酸性井戸水摂取と一致); 水の Cu 含量 9–26.4 mg/L		
Scheinberg—and—Sternlieb、1994 (参照 79)—【93】—	症例報告—インド以外の子小児肝硬変の小児 7 例 (2 歳未満)	不明	飲料水中の Cu 含量: 0.05–6.8 mg/L		肝硬変; 乳児 7 例中 3 例に遺伝的素因あり。		
	後ろ向き研究—マサチューセッツの 3 都市	小児期の曝露 64,124 例	飲料水の—Cu—含量: 8.5–8.8 mg/L	マサチューセッツ州の公衆衛生記録	肝硬変またはそのほかの肝疾患による死亡はない。		

	の乳児(0-5歳)	(1969年～1991年)					
Zietzら、2003(参照90)【91】	乳児のいる2,944世帯の横断的調査(ベルリン地区)	不明	飲料水のCu含量: 複合サンプル1(家庭で使用するたびに集めた水道水100ml中のCu): 平均 0.44 mg/L; 最大 3.5 mg/L 複合サンプル2(朝、昼、夕、及び就寝前に採取した水道水250 ml中)のCu: 平均 0.56 mg/L; 最大 4.2 mg/L (0.8-4.2 mg/L)	Cu 濃度 0.8 mg/L 以上の水道水を供給され(全調査世帯中の 29.9%)、それを少なくとも 6 週間にわたり 200 mL/日以上を摂取した家庭の乳児(541 名)を対象に小児検診を推奨: 517 名の乳児は医師による診察受診 183 例は小児健診(肝臓の触診及び超音波検査)及び血液検査(血清 Cu; セルロプラスミン; IgG, IgM, IgA; GOT; GPT; 総ビリルビン; CRP)	肝機能障害の徴候なし(GOT, GPT, GGT 及び血清銅濃度が基準範囲を超えていた 6 例は臨床的に感染と診断された。1 例は肝血管腫及び尿管閉塞で、5 例が腹部エコー検査ではわずかに異常があり感染が原因であると考えられた。 用量反応解析では水道水からの乳児の1日及び総銅摂取量と GOT, GPT, GGT, 総ビリルビン、血清銅、またはセルロプラスミンの間に負の健康影響の徴候はみられなかった。		

1

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

表中の Turnlund ら（1998）について、酸化銅投与に関しては前にコメントしています。

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

2
3
4

(2) 症例報告

① 症例報告 (O'Donohue ら (1999))

ミネラルサプリメントを3年間にわたり摂取した、英国の健康で活発なランナーである26歳男性が、腹痛、黄疸、腹部膨満の症状を呈して医療機関を受診した。この症例は、最初の3か月間に亜鉛の推奨用量を、その後の30か月間に銅30 mg/日（推奨用量は3 mg/日）を、さらに最後の1年間には銅60 mg/日を摂取していた。初診時は軽度の黄疸、中等度の腹水及び脾腫、並びにカイザー・フライシャー輪及びヒマワリ状白内障を呈し、血清銅は22.6 mmol/L、セルロプラスミンは0.24 mmol/L、24時間尿中銅排泄量は204 mmol/L（正常値は<1.2 mmol/L）であった。肝機能が悪化して初診から6週間後に脳症を発症し、急性腎不全（クレアチニン>300 mmol/L）、凝固不全（プロトロンビン時間130 sec）、低酸素血症が認められたため、緊急整位肝移植が行われた。1年後の経過観察でカイザー・フライシャー輪は消失し、数年後の追跡調査では、患者は健康で仕事もしており、ジョギングも再開していた。

著者らはこの症例について、劇症型ウィルソン病及びICCと非常に類似しており、この患者の肝臓組織像はウィルソン病肝硬変と区別がつかないと述べている。（参照91）【90】

提出された症例報告に係る知見は表23のとおりである。

1 表 23 ~~グルコン酸銅に関するヒトにおける知見の症例報告 (案)~~

<u>対象者の属性</u>	<u>被験物質及び銅 の投与形態</u>	<u>投与量及び投与期間</u>	<u>食事由来 の摂取量</u>	<u>有害影響</u>	<u>ヒトにおける影響の 分類及び科学的水準</u>	<u>参考文献</u>
<u>健康成人、男性、 26 歳、英国</u>	<u>銅の形態不明、 サプリメント</u>	<u>30 mg/日を 30 か月 間、60 mg/日を 1 年間</u>	<u>記載なし</u>	<u>腹痛、黄疸、腹水、脾腫、肝機能不 全、脳症、急性腎不全、凝固不全、 肝硬変</u>	<u>7 C</u>	<u>O'Donohue ら (1999) (参照 91) 【90】</u>

2

3

<u>参考文献</u>	<u>試験デザインと 対象</u>	<u>試験期間</u>	<u>銅の形態</u>	<u>調査した安全関連パラメーター</u>	<u>結果のまとめ</u>
<u>Scheinberg- and- Sternlieb, 1994 参照92 【93】</u>	<u>症例報告 インド以外の小 児肝硬変の小児 7 例 (< 2 歳)</u>	<u>NA 不明</u>	<u>飲料水中の Cu 含量: 0.05 から 6.8 mg Cu /L</u>		<u>肝硬変; 乳児 7 例中 3 例に遺 伝的証拠あり。</u>

(3) メタアナリシス

① メタアナリシス (Wang ら (2021))

銅の補給が血中脂質レベルに及ぼす影響を評価することを目的として、ランダム化比較試験 (RCT) のメタアナリシスが実施されている。銅サプリメントと脂質をキーワードに、並行又はクロスオーバーデザインであり、結果に総コレステロール (TC) ・ LDL-コレステロール (LDL-C) ・ HDL-コレステロール (HDL-C) のいずれか 1 つ以上を含み、データが完全で入手可能な RCT であることを条件として、2020 年 1 月までの情報をデータベース検索した結果、4 件の研究 (5 試験 176 例) が選択された。これらはチリあるいは米国で実施された試験で、被験者はすべて健康であり銅欠乏症や銅関連疾患患者は含まれなかった。

TC 及び LDL-C はランダム効果メタアナリシス、HDL-C については固定効果メタアナリシスにより解析した結果、表 23 に示すとおり、銅の補給とコレステロールの間には有意な関連は認められなかった。銅の介入用量について、2.49 mg/人/日を基準としてサブグループ解析を行った結果、2.49 mg/人/日未満の補給は LDL-C を増加させるが、TC 及び HDL-C とは関連がなかった。ベースラインの血中脂質レベルによるサブグループ解析を行った結果、脂質レベルが正常であったかどうかによる銅の補給の影響はなかった。

このメタアナリシスでは銅の補給が血中脂質レベルに影響を与えないことが示されたが、著者らは、これには生体内における銅の調節機構に関連している可能性があり、銅の状態を評価するための適切なバイオマーカーが不足していることや、国や地域によって 1 日の銅摂取量が異なることなどから、健康状態と食事からの銅摂取量のわずかな過剰または不足との関係を正確に評価することは困難であると考察している。そして、銅の補給は健康なヒトに悪影響を及ぼさないと結論できるが、研究対象集団、サンプルサイズ、地理的要因、その他の要因を考慮すると、この結論をさらに確認するには大規模なサンプルを用いた質の高い RCT が必要であると述べている。 (参照93) 【追 20】

提出されたメタアナリシスに係る知見は表 24 のとおりである。

1 表 24 メタアナリシス

メタアナリシス概要	データベース検索時期	研究タイプ	解析対象となった研究数及び症例数	銅としての投与量及び投与期間	アウトカム	メタアナリシス結果	参考文献
銅サプリメントが血中脂質に与える影響の評価	2020 年 1 月	ランダム化比較試験	4 件 (5 試験) 176 例	2～8 mg/人/日 (>2.49 mg/人/日 : 72 例、<2.49 mg/人/日 : 104 例)、6 週間～6 か月	①TC ②LDL-C ③HDL-C	銅補給と脂質との関連： 銅補給と脂質の間には有意な関連は見られなかった。 ①SMD=-0.05、95%信頼区間[-0.52, 0.43] ②SMD=0.22、95%信頼区間[-0.46, 0.89] ③SMD=0.18、95%信頼区間[-0.14, 0.49] サブグループ解析： 1. 銅の介入用量と脂質の関連： 2.49 mg/人/日未満の銅補給は LDL-C を増加させるが、TC 及び HDL-C とは関連がなかった。 ②銅の介入用量≥2.49 mg/人/日 SMD=-0.36、95%信頼区間[-0.88, 0.15] 銅の介入用量<2.49 mg/人/日 SMD=0.49、95%信頼区間[0.05, 0.92] 2. 銅補給とベースラインの血中脂質レベルとの関連： ベースラインの血中脂質レベルが正常であったかどうかによって影響は受けなかった。	Wang ら (2021) (参 照 93) 【追 20】

2 SMD: standard mean difference、標準化差

1 (4.5) ヒトにおける知見のまとめ

事務局より：

エビデンステーブル等の作成に関する議論などを踏まえて、追って作成いたします。

3 毒性試験

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

参考資料 1 の毒性の欄では概要書の引用文献と本評価書案の引用文献の対応関係を一覧表にしております。（例：概要書の引用文献番号 2 番は、評価書案の引用文献番号 7 番に該当します。）

評価書案に記載した引用文献の妥当性の確認の観点から、概要書には引用されており評価書案に追記が必要な文献や、評価書案から削除が必要な文献があるか、参考資料 1 を参考にご確認ください。

高須専門委員：

銅・銅塩類の急性毒性試験に関して、一部で追加する検討が必要と考えますが、それ以外では特に追加が必要な文献はないと考えます。理由については参考資料 1 に追記しました。

事務局より：

参考資料 1 に先生方のコメントを記載しておりますので、ご確認ください。

急性毒性試験について、概要書の引用文献 121 を評価書に記載するかどうかご意見をいただいております。ご検討ください。

II. 安全性に係る知見の概要のとおり、グルコン酸銅は消化管内での解離によって銅イオン及びグルコン酸イオンを生じることが予想されるため、グルコン酸銅に加え、銅塩類及びグルコン酸塩類の毒性について検討することとした。

(1) 遺伝毒性

① グルコン酸銅

グルコン酸銅を被験物質とした遺伝毒性に関する試験成績は、表 25 のとおりである。

表 25 グルコン酸銅に関する遺伝毒性の試験成績 (*in vitro*)

試験種類	試験対象	用量等	試験結果	参照
復帰突然変異試験 (<i>in-vitro</i>)	細菌 (S. typhimurium TA97、TA102)	最高用量 1 mg/plate	陰性 (<u>±S9</u> ~~代謝活性化の有無にかかわらず~~)	藤田ら (1988) ; (参照94) 【141 (グルコン酸銅 (第 1 版) 8】

±S9 : 代謝活性化系存在下及び非存在下

② 銅・銅塩類

銅・銅塩類を被験物質とした遺伝毒性に関する試験成績は、以下のとおりである。

a. 硫酸銅

飼料添加物評価書「2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅」(2019 年 3 月食品安全委員会決定)において、硫酸銅を被験物質とした遺伝毒性試験に係る表 26 及び表 27 の知見が検討されている。(参照95)【146 (硫酸銅 64)】

表 26 硫酸銅に関する遺伝毒性の試験成績 (*in vitro*)

試験種類	試験対象	被験物質	用量等	試験結果	参照
復帰突然変異試験 ~~(<i>in vitro</i>)~~	細菌 (Salmonella typhimurium TA102)	硫酸銅五水和物	最高用量 3,000 nM/plate (±S9)	陰 性	Marzin 及び Phi (1985) (参照 96) 【追3 (硫酸銅65)】
	細菌 (S. typhimurium TA97、TA102)	硫酸銅	最高用量 1,000 µg /plate (±S9)	陰 性	藤田ら (1988) (参照 94) 【141 (グルコン酸銅 (第1版) 8)】
	細菌 (S. typhimurium TA98、TA100)	硫酸銅	最高用量 5,000 µg /plate (±S9)	陰 性	Moriya ら (1983) (参照 97) 【追4 (硫酸銅67)】
DNA 損傷試験 (SOS クロモ試験) ~~(<i>in vitro</i>)~~	細菌 (Escherichia coli PQ37)	硫酸銅五水和物	最高用量 1,000 nM/ml (-S9) 注1	陰 性	Olivier 及び Marzin (1987) (参照 98) 【追5 (硫酸銅68)】
不定期DNA 合成 (UDS) 試験 ~~(<i>in vitro</i>)~~	ラット初代肝細胞	硫酸銅五水和物	7.9、 15.7 、 41.4、78.5 µM	陽性 (10 mM ヒドロキシ尿素の有無にかかわらず) (7.9~78.5 µM)	Denizeau 及び Marion (1989) (参照 99) 【追6 (硫酸銅 69)】

注1) 原著では「nM/ml」と記載されているが、「nmol/L」であると考えられる。

±S9 : 代謝活性化系存在下及び非存在下

表 27 硫酸銅に関する遺伝毒性の試験成績 (*in vivo*)

試験種類	試験対象	被験物質	用量等	試験結果	参照
------	------	------	-----	------	----

染色体異常試験 ~~(in vivo)~~	マウス (Swiss、雄、6 匹/群) 骨髓細胞	硫酸銅五水和物	0、1.1、1.65、2、3.3、6.6 mg/kg 体重 単回腹腔内投与、6、12 及び24 時間後	陽性 (1.1～6.6 mg/kg 体重、6～24 時間後)	Agarwal ら (1990) (参照 100) 【追7 (硫酸銅70)】
小核試験 ~~(in vivo)~~	マウス (CBA、雄、5～6 匹/群) 骨髓細胞	硫酸銅五水和物	最高用量 19.8 mg/kg 体重 単回腹腔内投与、24 又は 48時間後	陰性	Tinwell 及び Ashby (1990) (参照 101) 【追8 (硫酸銅 71)】
	マウス (Swiss、性別不明、3 匹/群) 骨髓細胞	硫酸銅五水和物	0、5、10、20 mg/kg 体重 2 回腹腔内投与、最終投与 6時間後	陽性 (5～20 mg/kg体重) 注 ~~1-2~~	Bhunya 及び Pati (1987) (参照 102) 【追9 (硫酸銅 72)】
	ラット (SD、12 匹、妊娠雌) 着床前胚、母動物骨髓細胞 注3	硫酸銅	8 mg/kg 体重 単回腹腔内投与、30 時間後採材	陰性	Ornaghi及び Giavini (1989) (参照103) 【追 10 (硫酸銅 73)】

注1) 原著では「nM/ml」と記載されているが、「nmol/L」であると考えられる。

注~~2-1~~) 陽性対照群が設けられておらず、WHO (1998) (参照31) では解釈困難とされている。注3) 着床前胚を採取した母動物のうち 7 匹から骨髓細胞を採取した。

【第21回WGの記載】

伊吹専門委員：

p 49：注2) 陽性対照群が設けられておらず、WHO (1998) (参照 74) では解釈困難とされている。と記載されている部分ですが、参照 74 とは下の WHO の書籍だと思いますが、別の論文となっています。

International Programme on Chemical Safety (IPCS) INCHEM. WHO(ed.): Copper. Environmental Health Criteria (EHC) 200; World Health Organization. 1998.

事務局より：

ご指摘いただいた箇所を正しい文献番号に修正いたしました。

飼料添加物評価書「2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅」の後に新たに得られた知見は表 28 のとおりである。

表 28 硫酸銅に関する遺伝毒性の試験成績 (新たな知見) (in vitro)

試験種類	試験対象	被験物質	用量等	試験結果	参照
------	------	------	-----	------	----

コメットアッセイ及び小核試験 ~~(in vitro)~~	ラット初代脾臓細胞 (Wistar、雄)	硫酸銅	銅として40 μM、12時間処理	陽性	Mandil ら (2020) (参照104) 【147 (硫酸銅75)】
---	----------------------	-----	------------------	----	---------------------------------------

b. 硫酸銅 (参考資料)

表 29 の知見は、飼料添加物評価書「2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅」において検討されているが、硫酸銅のばく露により変異株を分離することを目的としたものであることから、参考資料とした。なお本試験では、硫酸銅のばく露により変異株ができるメカニズムについては特に言及されておらず、DNA に対する直接の作用なのか、間接的な作用なのかが不明である。

表 29 硫酸銅の遺伝毒性に関する参考試験成績 (in vitro)

試験種類	試験対象	被験物質	用量等	試験結果	参照
突然変異試験 ~~(in vitro)~~	細菌 (Bacillus subtilis 168)	硫酸銅	0、0.1、0.2、0.4、0.8、2.0 mM	陽性注	Berek及びKiss (1974) (参照105) 【追11 (硫酸銅76)】

注) 原著では、表 29 の用量の硫酸銅存在下で、ストレプトマイシン感受性及び耐性の Bacillus subtilis 168 を培養すると生育が認められ、変異株の分離には 0.4 mM の硫酸銅を用いたとされている。

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

添加物評価書「硫酸銅」では参考資料としておりますが、本評価書においても参考資料でよいかご確認ください。

伊吹専門委員：

硫酸銅のばく露により変異株を分離することを目的とし、Streptomycin と熱 (43, 45℃) への耐性株を得たという内容なので、参考資料でいいと思います。

事務局より：

参考資料として記載を残しました。

[第 21 回 WG の記載]

伊吹専門委員：

飼料添加物評価書「2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅」(2019 年 3 月食品安全委員会決定) では、銅塩類として、塩化銅も記載されています。概要書からは削除されていますが、銅塩類として記載するならば、塩化銅も入れてもいいかと思いますが、これを外す理由は何かあるでしょうか。

事務局より：

塩化銅の記載について、添加物評価書「硫酸銅」(2022 年 8 月食品安全委員会決定) の議論の際は、要請者より提出された同添加物の概要書にて、以下の記載があり、添加物「グルコン酸銅 (第 1 版)」(2004 年 5 月食品安全委員会決定) の評価が行われた以前の文献に基づく情報

であり、新たな知見ではなかったことから議論がされていなかったものと考えております。
 評価書案への記載の要否について御検討ください。評価書案への記載をすることとなりましたら、補足資料として要請者に当該論文をご提出いただく必要がございます。

===（ここから引用）===

(p.66～67)

飼料添加物評価書「2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅」(2019 年) [70]においては、一部の銅化合物の遺伝毒性について検討されているものの、「添加物 グルコン酸銅の使用基準改正に係る食品健康影響評価に関する審議結果」(2004 年) [69]以降の銅単体の遺伝毒性試験に係る新たな知見について言及されていない。そこで、「添加物グルコン酸銅の使用基準改正に係る食品健康影響評価に関する審議結果」(2004 年) [69]以降の銅（銅塩類）の遺伝毒性試験に係る知見について、以下のとおり記載する。

===（ここまで引用）===

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

第 21 回 WG の議論を踏まえ、飼料添加物評価書「2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅」に記載の塩化銅について、追記いたしましたので、ご確認ください。

c. 銅

添加物評価書「グルコン酸銅（第 1 版）」の後に新たに得られた知見については表 30 のとおりである。

表 30 銅・銅塩類に関する遺伝毒性の試験成績（新たな知見）(in vitro)

試験種類	試験対象	被験物質	用量等	試験結果	参照
コメント アッセイ <u>(in vitro)</u>	チャイニーズハム スター卵巣細胞 (CHO-K1株)	銅盤抽出 培養液	銅として 1.56、 2.25、3.07、5.67、7.42 mg/L、24時間処理	陽性 (5.67、 7.42 mg/L)	Grilloら (2010) (参照106) 【148 (硫酸 銅77)】

d. 塩化銅

飼料添加物評価書「2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅」にて、塩化銅に関する知見が表 31 の通り示されている。

表 31 塩化銅の遺伝毒性試験 (in vitro)

試験種類系	試験対象	用量等	試験結果	参照
復帰突然変異試験 <u>(in vitro)</u>	<i>S. typhimurium</i> TA98、TA102、 TA1535、TA1537	塩化銅 (Ⅱ) 160、200 mg Cu/kg (± S9)	陰性	Wong (1988) ; SCF (2003) で引 用 (参照32)
DNA修復試験 (Rec assay)	<i>B. subtilis</i> H17、M45	塩化銅 (Ⅰ)、塩 化銅 (Ⅱ) 0.05 M	陰性	Nishioka (1975) ; SCF (2003) で引用 (参照32)

	<i>B. subtilis</i> H17、M45	塩化銅（Ⅰ）、塩 化銅（Ⅱ） 0.005M～0.5M	陰性	Kanematsuら (1980)；SCF (2003)で引用 (参照32)
--	-------------------------------	----------------------------------	----	---

③ グルコン酸塩類

グルコン酸塩類を被験物質とした遺伝毒性に関する試験成績は、表 32 及び表 33 のとおりである。

表 32 グルコン酸亜鉛に関する遺伝毒性の試験成績 (*in vitro*)

試験種類	試験対象	被験物質	用量等	試験結果 概要	参照
体細胞組換え試験	酵母 (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> D4)	グルコン酸 亜鉛	最高用量 5.00% ⁵² (±S9)	陰性	Litton Bionetics (1977) (参照107) 【追12 (グルコン酸亜鉛(第2版) 38)】
復帰突然変異試験 (~~<i>in vitro</i>~~ 、 GLP 非対応)	細菌 (<i>Salmonella typhimurium</i> TA1535、 TA1537、 TA1538、 TA98、 TA100)	グルコン酸 亜鉛	最高用量 0.08% (±S9)	陰性	Litton Bionetics (1977) (参照107) 【追12 (グルコン酸亜鉛(第2版) 38)】

表 33 グルコン酸塩類に関する遺伝毒性の試験成績 (*in vitro*)

試験種類	試験対象	被験物質 ²	用量等	試験結果 概要	参照
体細胞組換え試験	酵母 (<i>S. cerevisiae</i> D4)	グルコノ- δ-ラクトン	最高用量 0.5% (±S9)	陰性	JECFA (1998) で引用 (Litton Bionetics (1974)) (参照23) 【18 (グルコン酸亜鉛(第2 版) 17)】

⁵² 標準的ではない懸濁法による。また、代謝活性化系には、マウス、ラット及びサルが用いられている。

復帰突然 変異試験 (~~in- vitro~~ 、 GLP 非 対 応)	細菌 (S. typhimurium TA1535、 TA1537、 TA1538、)	グルコノ- δ-ラクトン	最高用量 0.5% (±S9)	陰性	JECFA (1998) で引用 (Litton Bionetics (1974)) (参照23) 【18 (グルコン酸亜鉛 (第2版) 17)】
	細菌 (S. typhimurium TA98、TA100、 TA1535 、 TA1537 、 TA1538、 Escherichia coli WP2)	グルコン 酸 マン ガ ン	最高用量 10 mg/plate (±S9)	陰性	JECFA (1998) で引用 (Prival (1991)) (参照23) 【18 (グルコン 酸亜鉛 (第2版) 17)】

1

[第 21 回 WG の記載] (再掲) 松井専門委員： グルコン酸ではなくグルコノ-δ-ラクトン投与試験ですので、説明が必要です。水中ではグルコノ-δ-ラクトンとグルコン酸が平衡状態となっている報告 (Sawyer & Bagger,1959) がありますので情報提供します。この論文を脚注で示すこと等が考えられます。ご確認ください。 毒性でもグルコノ-δ-ラクトン投与試験が記載されています。毒性でも、ここでの脚注番号を付けた方が良いかもしれません。 事務局より： 松井専門委員より情報提供いただきました論文を脚注で示すことについて、ご確認ください。
[第 22 回 WG の記載] 事務局より： [第 21 回 WG の記載]のご意見を踏まえ、脚注に追記いたしました。

2

[第 21 回 WG の記載] 事務局より： 遺伝毒性に関する試験の表 (表 23～29) に関しまして、各表の一番左に「指標」に該当する欄がございます。こちらの区分けは OECD テストガイドラインに記載されている区分けとは異なり、「試験種類」の欄のみで充足性があると考えており、「指標」に該当する欄の削除をご検討いただきたく存じます。
[第 22 回 WG の記載] 事務局より： 第 21 回 WG の議論を踏まえ、「指標」に該当する欄を削除いたしましたので、ご確認ください。 伊吹専門委員： 「指標」に該当する欄は削除でいいかと思います。 in vivo, in vitro の記載が書かれている場所とそうでない場所があります。

3

事務局より：

第22回WGの議論を踏まえ、各表における「*in vitro*」及び「*in vivo*」の記載を表の題名に記載場所を変更し、その他項目欄の記載整備をいたしました。

また、表中の試験結果欄における「代謝活性化の有無にかかわらず」の記載を「±S9」に統一し、各表の欄外に±S9は代謝活性化系存在下及び非存在下であることを示す分を追加いたしました。

伊吹専門参考人：

表26、27の左側にカラムが残っています。表26の注1が表27の下に記載されています。

また、この表記でいいと思います。

事務局より：

ご指摘いただいた点を修正いたしました。

④ 遺伝毒性のまとめ

事務局より：

遺伝毒性のまとめについて、グルコン酸銅以外の銅塩類等の情報も含める記載となるように整備しました。

なお、飼料添加物評価書「2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅」の記載は添加物評価書「硫酸銅」の記載を参考にしております。

伊吹専門参考人：

この記載でいいと思います。

~~グルコン酸銅を被験物質とした復帰突然変異試験において、陰性の結果となっている。この結果を受け、食品安全委員会において出された「添加物評価書グルコン酸銅（第1版）」（参照20）【3】において本件については問題なしとして報告されている。したがって、本ワーキンググループとしては、実施された試験は限られているものの、グルコン酸銅に、生体にとって特段問題となる遺伝毒性はないものと判断した。及びグルコン酸塩類を被験物質とした遺伝毒性試験はすべて陰性の結果であった。グルコン酸銅を含む銅塩類の遺伝毒性については、飼料添加物評価書「2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅」において、以下のとおり評価されている。~~

「Cu-(HMTBa)₂⁵³を含む銅化合物については、染色体異常誘発性を有するものの、遺伝子突然変異誘発性はないと考えられた。この機序については、銅は酸化還元活性遷移元素であり、潜在的に Fenton/Haber-Weiss 反応⁵⁴を触媒し、

⁵³ 2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅

⁵⁴ 過酸化水素及び超酸化物からヒドロキシラジカルを発生させる反応。鉄が触媒となり反応を進行させる。

1 活性酸素種が生成することが知られていることから、銅の染色体異常誘発性は
2 活性酸素種が生成したことによる間接的な影響と考えられた。また、ヒトに
3 対する銅の遺伝毒性については、過負荷の条件における場合を除いて予見され
4 ておらず、通常のヒトの経口摂取の範囲においては、一般的に遺伝毒性がある
5 とは考えられていない。」

6 上記の評価以降に発表された Mandil ら (2020) によるコメットアッセイ及
7 び小核試験の結果は陽性とされているが、当該試験は細胞の 50%致死濃度の銅
8 を用いて実施された試験であり、陽性とされた変化は前述の活性酸素種の間接
9 的な影響によるものと考えられた。また、銅盤抽出培養液を用いた Grillo ら
10 (2010) によるコメットアッセイについても細胞毒性が見られる用量を含んで
11 の結果であり、同様に考えた。

12 以上より、本ワーキンググループは、グルコン酸銅、銅・銅塩類及びグルコ
13 ン酸塩類には、生体にとって特段問題となる遺伝毒性はないものと判断した。

14 (2) 急性毒性

15 ① グルコン酸銅

16 グルコン酸銅を被験物質とした急性毒性に関する試験成績は、表 34 のとお
17 りである。
18

19 表 34 グルコン酸銅に関する急性毒性の試験成績

動物種 (性別)	LD ₅₀ (mg/kg 体重)	参考文献
マウス (雌雄、詳細不明)	雄 1350 雌 1250	佐藤ら (1982、未発表) : 食品衛生研究にて引用 (参 照 7) 【2】

21 ② 銅塩類

22 銅塩類を被験物質とした急性毒性に関する試験成績は、表 35 のとおりである。
23

24 表 35 銅塩類に関する急性毒性の試験成績

被験物質	動物種 (系統、性別)	LD ₅₀ (mg/kg 体重) (銅換算値 mg/kg 体重)	参考文献
硫酸銅 (II) 五水和物	ラット (系統・性別不明)	960 (244 ^注)	Smyth ら (1969) (参照108) 【119 (硫酸銅 78) 】
硫酸銅 (詳細不明)	ラット (系統・性別不明)	300	Spector (1956) (参照109) 【120 (硫酸銅 79) 】

塩化銅	ラット (系統・性別不明)	140	Spector (1956) (参照 109) 【120 (硫酸銅 79) 】
硝酸銅	ラット (系統・性別不明)	940	Spector (1956) (参照 109) 【120 (硫酸銅 79) 】
酢酸銅	ラット	710	Smyth ら (1969) (参照 108) 【119 (硫酸銅 78) 】
炭酸銅	ラット	159	Spector (1956) (参照 109) 【120 (硫酸銅 79) 】
酸化銅	ラット	470	Smyth ら (1969) (参照 108) 【119 (硫酸銅 78) 】

注) 換算値 = 63.546 (銅原子量) / 249.69 (硫酸銅 (II) 五水和物分子量)

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

第 21 回 WG の議論を踏まえ、概要書の文献 121 に記載の銅に関する記載を追記しましたので、ご確認ください。

③ グルコン酸塩類

グルコン酸塩類を被験物質とした急性毒性に関する試験成績は表 36 のとおりである。

表 36 グルコン酸塩類に関する急性毒性の試験成績

被験物質	動物種 (性別)	LD ₅₀ (mg/kg 体重)	参考文献
グルコン酸ナトリウム	ラット (SD、雌雄)	>2,000	Mochizuki ら (1995) ; JECFA (1998) にて引用 (参照 23) 【18 (グルコン酸亜鉛 (第 2 版) 17) 】
グルコノ-δ-ラクトン ²	ラット (詳細不明)	5940	Food & Drug Research Laboratories (1973a) ; JECFA (1998) にて引用 (参照 23) 【18 (グルコン酸亜鉛 (第 2 版)
グルコノ-δ-ラクトン ²	マウス (詳細不明)	6800	

グルコノ-δ-ラクトン ²	ウサギ (詳細不明)	7850	17) 】
グルコノ-δ-ラクトン ²	ハムスター (詳細不明)	5600	

1

【第 21 回 WG の記載】

(再掲)

松井専門委員：

グルコン酸ではなくグルコノ-δ-ラクトン投与試験ですので、説明が必要です。水中ではグルコノ-δ-ラクトンとグルコン酸が平衡状態となっている報告 (Sawyer & Bagger, 1959) がありますので情報提供します。この論文を脚注で示すこと等が考えられます。ご検討ください。

毒性でもグルコノ-δ-ラクトン投与試験が記載されています。毒性でも、ここでの脚注番号を付けた方が良くかもしれません。

事務局より：

松井専門委員より情報提供いただきました論文を脚注で示すことについて、ご検討ください。

【第 22 回 WG の記載】

事務局より：

【第 21 回 WG の記載】のご意見を踏まえ、脚注に追記いたしました。

2

3

(3) 反復投与毒性

【第 21 回 WG の記載】

高須専門委員：

現在の評価書では、個々の試験で NOAEL を判断するような記載形式になっていることが多いと思います。本評価書でもその方針で記載するのはいかがでしょうか。

【第 22 回 WG の記載】

事務局より：

ご指摘を踏まえて、個々の試験における NOAEL の判断を追記いたしましたので、ご確認ください。

事務局より：

高須専門委員より、個々の試験における NOAEL の判断の記載を修正いただきましたので、ご確認ください。

4

5

① グルコン酸銅

6

a. ラット 40～44 週間反復投与毒性試験 (Harrisson ら (1954) : IPCS (1998)、Nakamoto ら (食品衛生研究) (1983)、添加物評価書グルコン酸銅 (2004)

7

にて引用

8

9

SD ラット (雌雄、各 22～25 匹/群) に、グルコン酸銅を表 37 のとおり投与群を設定して 40～44 週間混餌投与し、被験物質の影響を調べる試験が実施されている。

10

11

12

13

表 37 用量設定

用量設定 (ppm) ^{注 1}	0 (対照群) ^{注 2}	1600 ^{注 3}
---------------------------	------------------------	---------------------

mg/kg 体重/日に換算 ^注	0	雄 80 ^{注4}	雌 120
----------------------------	---	--------------------	-------

注 1：銅としての濃度

注 2：開始時 雄 23 匹、雌 25 匹

注 3：開始時 雄 22 匹、雌 25 匹

注 4：投与 1 か月で投与量を減量

その結果、グルコン酸銅投与群では投与 12 週で摂餌量の減少傾向が見られ、投与 26 週では同群の体重は対照群と比較して明らかに減少した。死亡率は、投与 12 週以降（投与 4 か月～8 か月）に増加し、投与 35 週には開始時の 83% が死亡した。このため、対照群を含む全群雌雄各 4 匹を投与 33 週に剖検し、残りの動物は投与群全例（雄 2 匹、雌 4 匹）を対照群（雄 8 匹、雌 9 匹）とともに投与 40～44 週の間に剖検した。剖検では雌雄ともに「銅色の」腎臓、「黄銅色の」肝臓が観察された。胃では全体の拡張、前胃・腺胃境界部の過形成、潰瘍、腸粘膜の出血がみられた。

肝臓、腎臓、脾臓の組織 100 g あたりの銅の量は、グルコン酸銅投与群(56-75 mg)で対照群(1.2-1.8 mg)と比較して明らかに高かった。(参照110、7)【126 (グルコン酸銅 (第 1 版) 14)、2 (硫酸銅 16)】

本ワーキンググループは、単用量の試験であること、および及び病変に発生頻度や統計学的有意差に関する情報がないことから、NOAEL を得ることはできないと判断した。

[第 21 回 WG の記載]

高須専門委員：

単用量の試験であること、および病変に発生頻度や統計学的有意差に関する情報がないことから、NOAEL の判断はできないと考えます。

高橋専門委員：

単用量であること、詳細な情報が確認できないことにより NOAEL を得ることができないとする事務局案に同意いたします。

b. イヌ 6 か月及び 12 か月反復投与毒性試験 (shanaman ら (1972) 非公表：IPCS (1998)、Nakamoto ら (食品衛生研究) (1983)、添加物評価書グルコン酸銅 (2004)、EFSA Journal(2023)にて引用

イヌ (雌雄、各 6～8 匹/群) に、グルコン酸銅を表 38 のとおり投与群を設定して 6 か月及び 12 か月混餌投与し、被験物質の影響を調べる試験が実施されている。

表 38 用量設定

用量設定 (%)	0 (対照群)	0.012	0.06	0.24
mg/kg 体重/日に換算 ^{注1}	0	3	15	60

銅としての量（mg/kg 体重／日）注2	0	0.42	2.1	8.4
----------------------	---	------	-----	-----

注1：原著非公開のため、グルコン酸銅評価書の記載より引用、EFSA Journal の記載と同様の数値

注2：原著非公開のため、IPCS の記載より引用

その結果、摂餌量、体重増加に対照群と投与群の間に差はなかった。死亡例はなく、最高用量（0.24%）群の12匹中2匹でALTが上昇したが可逆的な変化であった。肉眼的、組織学的病理所見や臓器重量に異常は見られなかった。腎臓、肝臓、脾臓の銅濃度が6カ月及び12カ月で、用量依存的に増加した。最高用量群の投与0、4及び12週に実施した各4例の肝生検からは、肝臓中銅濃度の可逆性が示された。（参照111）【99（グルコン酸銅（第1版）18）】

本ワーキンググループは、最高用量群で認められた変化の発生頻度は低く、重量変化や組織学的変化がないことから、毒性学的意義は低いと考えるが、詳細が確認できないことから、NOAELを得ることはできないと判断した。

【第22回WGの記載】

高須専門委員：

ただし、詳細がわからない中での最高用量群における変化の判断を最終的に文章に入れるかは議論が必要であると思います。

【第21回WGの記載】

高須専門委員：

最高用量群で認められた変化は重量変化や組織学的変化がないことから、毒性学的意義は低いと考えますが、当該文献は非公表であり、引用する評価書等にもこれ以上の情報はないため、これ以上の判断は難しいと思います。

高橋専門委員：

詳細な情報を確認できないことにより NOAEL を得ることができないとする事務局案に同意いたします。

② 銅塩類

添加物評価書「グルコン酸銅（第1版）」において、硫酸銅を被験物質とした以下のa.～e.及びg.の知見が検討されている。それ以外に、添加物評価書「硫酸銅（2022年）」においてf.の知見が提出されている。（参照20、22）【3, 29】

a. ラット14週間反復経口投与試験（Kulwichら（1953）；仲本ら（1983）にて引用）

Wistar 離乳ラット（性別不明、各群3～5匹）に、⁶⁴Cuで標識された硫酸銅（銅として200ppm）を表39のとおり投与群を設定して、14週間混餌投与（摂餌量20g/日）したのち、動物の成長と各組織の放射活性を測定する試験が実施されている。

表 39 用量設定

用量設定（銅として）（ppm）	0（対照群）	200
-----------------	--------	-----

その結果、ラットの成長に影響はなく、投与群で肝臓、腎臓及び大腿骨の銅濃度の軽度な上昇が見られた。（参照112、7）【127（グルコン酸銅（第1版）13）、2（硫酸銅 16）】

本ワーキンググループは、本試験は臓器中の銅、モリブデン及び亜鉛の濃度の変化を観察した試験であり毒性試験としての検査項目が不十分であること並びに単一の投与群で実施されていることから、NOAELを得ることはできないと判断した。

[第 21 回 WG の記載] 高須専門委員： 硫酸銅の評価時と同様に、NOAEL を得ることはできないのと判断でよろしいかと思います。 高橋専門委員： NOAEL を得ることができないとする事務局案に同意いたします。反復投与毒性を見るための試験とは異なるため、参考資料にはいかがでしょうか。

b. ラット 3 か月間反復経口投与試験（Aburto ら（2001））

F344 ラット（雄、各群 5 匹）に硫酸銅を表 40 のとおり投与群を設定して、3 か月間混餌投与し、肝臓中の銅濃度及び病理組織変化を調べる試験が実施されている。

表 40 用量設定

用量設定（銅として）（ppm） ^{注1}	18（対照群） ^{注2}	750	1,000	1,250	1,500	2,000
-------------------------------	-----------------------	-----	-------	-------	-------	-------

注 1）被験物質投与群は基礎飼料の銅含有量を加味して調製

注 2）基礎飼料のみ。18ppm の銅を含有

その結果、試験終了時には対照群に比較して 1,000ppm 以上の投与群で肝臓中の銅濃度が有意に増加した。また 1,250ppm 以上の投与群で、体重が有意に低く、体重抑制には用量相関が認められた。また、肝臓の病理組織検査で壊死等の所見が著明に認められ、ローダミン染色によって銅顆粒の増加が確認された。（参照113）【128（グルコン酸銅（第1版）15）】

本ワーキンググループは、本試験は銅摂取による肝臓への影響を観察した試験であり、肝臓以外への影響が不明であることから、NOAELを得ることはできないと判断した。

[第 21 回 WG の記載] 高須専門委員： 硫酸銅の評価時と同様に、NOAEL を得ることはできないのと判断でよろしいかと思います。 高橋専門委員： 「肝臓の病理組織検査で壊死等の所見が著明に認められ」の表現が少し強く感じ
--

るので、「肝臓の病理組織検査で門脈域におけるリンパ球主体の炎症細胞浸潤及び肝実質全体にわたる多数の肝細胞壊死を散見し」に修正していただけますでしょうか。NOAELを得ることができないとする事務局案に同意いたします。

c. ラット 18 週間及び 12 週間反復経口投与試験 (Fuentelba ら (2000))

成熟及び幼若 F344 ラット (雌雄、各群 4～11 匹) に硫酸銅を表 41 のとおり投与群を設定して、それぞれ 18 週間及び 12 週間混餌投与する試験が実施されている。

表 41 用量設定

用量設定 (銅として) (ppm)	<10 (対照群) 注	1,500
-------------------	-------------	-------

注) 基礎飼料のみ。銅の含有は<10ppm

その結果、成熟ラット、幼若ラットともに被験物質投与群で肝障害が観察された。幼若ラット¹⁾の肝臓の銅の蓄積は成熟ラットに比して多く、肝障害の程度も著しかった。(参照114) 【129 (グルコン酸銅 (第1版) 16)】

本ワーキンググループは、本試験は銅摂取による肝臓への影響を観察した試験であり、肝臓以外への影響が不明であること及び単一の投与群で実施されていることから、NOAELを得ることはできないと判断した。

[第21回WGの記載]

高須専門委員：

硫酸銅の評価時と同様に、NOAELを得ることはできないのと判断でよろしいかと思います。

高橋専門委員：

単用量であること、肝臓以外の諸臓器における情報が確認できないことによりNOAELを得ることができないとする事務局案に同意いたします。

d. ラット 40～44 週間反復経口投与試験 (Harrisson ら (1954); 仲本ら (1983) にて引用)

SD ラット (雌雄、各群 25 匹) に硫酸銅を表 42 のとおり投与群を設定して、40～44 週間混餌投与する試験が実施されている。

表 42 用量設定

用量設定 (銅として) (ppm)	0 (対照群) 注	530	1,600
-------------------	-----------	-----	-------

注) 基礎飼料のみ

その結果、1,600ppm 投与群において投与 12 週から摂餌量及び体重増加量の減少が見られ、同群の 25%が投与 35 週までに死亡した。また、1,600ppm 投与群の肝臓に銅の蓄積が認められた。(参照 110、7) 【126 (グルコン酸銅 (第1版) 14)、2 (硫酸銅 16)】

本ワーキンググループは、本試験は各変化の統計学的有意差や病理所見の

発生頻度の記載がなく結果の詳細が不明であることから、NOAEL を得ることとはできないと判断した。

[第 21 回 WG の記載]	
高須専門委員：	硫酸銅の評価時と同様に、NOAEL を得ることはできないのと判断でよろしいかと思います。
高橋専門委員：	詳細な情報が確認できないことにより NOAEL を得ることができないとする事務局案に同意いたします。

- e. ウサギ反復経口投与試験 (Tachibana (1952) ; 仲本ら (1983) にて引用)
ウサギ (詳細不明) に硫酸銅 1 % 溶液 (10 mL) を表 43 のとおりの内容で、毎日又は 1 日おきに反復経口投与する試験が実施されている。

表 43 投与内容

被験物質投与量	銅投与量 ^注	投与期間
1 % 溶液 10 mL	約 12.5 mg/kg 体重	最長 479 日

注) 数値は添加物評価書「グルコン酸銅 (第 1 版)」より引用

病理組織学的検査の結果、肝障害が認められた。(参照115、7)【135、2 (硫酸銅 16)】

本ワーキンググループは、本試験は銅摂取による肝臓への影響を観察した試験であり、肝臓以外への影響が不明であること及び単一の投与群で実施されていることから、NOAEL を得ることはできないと判断した。

[第 21 回 WG の記載]	
高須専門委員：	硫酸銅の評価時と同様に、NOAEL を得ることはできないのと判断でよろしいかと思います。
高橋専門委員：	単用量であること、肝臓以外の諸臓器における情報が確認できないことにより NOAEL を得ることができないとする事務局案に同意いたします。

- f. ラット及びマウス 92 日間及び 15 日間反復経口投与試験 (Hébert ら (1993) ; ECHA (2013) 及び OECD (2014) にて引用)
(a) ラット 92 日間反復経口投与試験

F344/N ラット (雌雄、各群 20 匹) に硫酸銅 (II) 五水和物を表 44 のとおり投与群を設定して、92 日間混餌投与する試験が実施されている。そのうち雌雄各群 10 匹は中間期の臨床検査に供した。

表 44 用量設定

用量設定 (ppm)		0 (対照群)	500	1,000	2,000	4,000	8,000
硫酸銅 (II) 五水和物換算	雄	0	32	64	129	259	551

摂取量 (mg/kg 体重/日) 注1	雌	0	34	68	135	267	528
銅換算摂取量 (mg Cu/kg 体重/日) 注2	雄	0	8.1	16.3	32.8	65.9	140.2
	雌	0	8.7	17.3	34.4	68.0	134.4

注1) 原著より引用。

注2) OECD (2014) より引用。

投与群で認められた毒性所見は表 45、病理組織所見は表 46 のとおりである。

表 45 毒性所見

投与群	雄	雌
8,000ppm	- 赤血球数、網状赤血球数の増加 - 血清総タンパク、アルブミンの減少、尿素窒素の増加 - 尿中 AST の増加	- 体重増加抑制 - ヘモグロビン、ヘマトクリット値、平均赤血球ヘモグロビン量の減少
4,000ppm 以上	- 体重増加抑制 - ヘモグロビン、ヘマトクリット値の減少 - 血清 5-NT の増加 - 尿中 NAG の増加	- 平均赤血球容積の減少 - 血清 ALT、SDH の増加 - 血清総タンパク、アルブミンの減少 - 尿中 NAG の増加
2,000ppm 以上	- 平均赤血球容積及び平均赤血球ヘモグロビン量の減少 - 血清 ALT、SDH の増加	- 血清尿素窒素の増加 - 尿中 AST の増加

表 46 病理組織所見

		用量 (ppm)				
		0	1,000	2,000	4,000	8,000
雄	・肝臓の炎症巣増加	0/10 注1	0/10	1/10	10/10	10/10
	・腎皮質尿細管（細胞内、管腔）の好酸性小滴増加注2	0/10	0/10	3/10	10/10	10/10
	・尿細管上皮細胞巨大核	0/10	0/10	0/10	0/10	10/10
	・前胃腺胃境界縁の扁平上皮過形成の増加	0/10	0/10	10/10	10/10	10/10
雌	・肝臓の炎症巣増加	0/10	0/10	0/10	6/10	10/10
	・腎皮質尿細管（細胞内、管腔）の好酸性小滴増加注2	0/10	1/10	9/10	10/10	10/10
	・尿細管上皮細胞巨大核	0/10	0/10	0/10	0/10	10/10

	・前胃腺胃境界縁の扁平上皮過形成の増加	0/10	0/10	7/10	10/10	10/10
--	---------------------	------	------	------	-------	-------

注 1) 発現例数／検査例数

注 2) 小滴はタンパク質に対して陽性に染色されたが、鉄、PAS 及び抗酸性（リポフスチン）染色では陰性であった。雄ラットの対照群と高用量群の腎臓切片は α2u-グロブリンに対して陽性に染色されたが、投与群ラットと対照群ラットとの間で染色性に明確な差異は認められなかった。

そのほか、以下の所見が認められた。

- ・摂餌量は、8,000ppm 群の雌雄ラットで対照群と比べてわずかに減少したが、その他の投与群は対照と同程度であった。
- ・各用量群当たり 4 匹のラットの脾臓切片に Perl の鉄染色を施して鉄（ヘモジデリン）の存在について評価した。その結果、雌雄ラットの 8,000ppm 群では、赤脾髄のマクロファージの細胞質に鉄顆粒は少ししか観察されなかった。2,000 及び 4,000ppm 群の脾臓では鉄反応陽性顆粒物質の減少は対照群と比較してごくわずかに認められた。

前胃の病変について、Hébert ら（1993）は、硫酸銅が多く動物種で胃の刺激物であることが示されていることから、被験物質による胃粘膜の慢性的な刺激の結果であるとしている。

なお、誤投与により死亡した 1,000ppm 群の雌ラット 1 匹を除いて、全てのラットは試験終了まで生存した。試験期間中、硫酸銅（II）五水和物の投与に起因する臨床症状は観察されなかった。

Hébert ら（1993）は、92 日間反復投与試験及び 15 日間反復投与（混餌及び飲水）の結果を総合して被験物質の前胃に対する刺激性、肝臓、腎臓、造血系に及ぼす影響を考慮し、ラットにおける無作用量（NOEL）を 1,000ppm と考察している。（参照 116）【71（硫酸銅 85）】

OECD（2014）は、92 日間反復投与試験における前胃、肝臓及び腎臓の毒性に関する NOAEL をともに 1,000ppm（銅として雄 16.3 mg Cu/kg 体重/日、雌 17.3 mg Cu/kg 体重/日）としている。（参照 42）【追 2（硫酸銅 46）】

ECHA（2013）は、92 日間反復投与試験における NOAEL を 1,000ppm（銅として雄 16 mg Cu/kg 体重/日、雌 17 mg Cu/kg 体重/日）としている。（参照 117）【134（硫酸銅 86）】

本ワーキンググループは、前胃、肝臓、腎臓、造血系の所見が認められたことから、NOAEL を 1,000ppm と判断した。

【第 21 回 WG の記載】

高須専門委員：
硫酸銅の評価時と同様に、NOAELは1000 ppmでよろしいかと思います。
高橋専門委員：
NOAELを1,000ppmと判断する事務局案に同意いたします。

(b) マウス 92 日間反復経口投与試験

B6C3F₁マウス（雌雄、各群 10 匹）に硫酸銅（II）五水和物を表 47 のとおり投与群を設定して、92 日間混餌投与する試験が実施されている。なお、本試験では血液生化学検査、尿検査等を行われていない。

表 47 用量設定

用量設定 (ppm)		0 (対照群)	1,000	2,000	4,000	8,000	16,000
硫酸銅 (II) 五水和物換算摂取量 (mg/kg 体重/日) 注1	雄	0	173	382	736	1,563	3,201
	雌	0	205	494	1,048	2,106	4,157
銅換算摂取量 (mg Cu/kg 体重/日) 注2	雄	0	44.0	97.2	187.3	397.8	814.7
	雌	0	52.2	125.7	266.7	536.0	1058.0

注 1) 原著 Table より引用。

注 2) OECD (2014) より引用。

各投与群で認められた病理組織所見は表 48 のとおりである。

表 48 病理組織所見

		用量 (ppm)					
		0	1,000	2,000	4,000	8,000	16,000
雄	・前胃腺胃境界縁の扁平上皮過形成の増加	0/10	0/10	0/10	2/10	6/10	10/10
雌	・前胃腺胃境界縁の扁平上皮過形成の増加	0/10	0/10	0/10	5/10	8/10	10/10

発現例数／検査例数

そのほか、以下の所見が認められた。

- ・被験物質投与群では、用量に関連して体重増加量が早期より低下し、高い用量群で明らかに認められた。摂餌量は全ての投与群で対照群と同程度であった。

なお、全てのマウスは試験終了まで生存し、試験期間中、硫酸銅（II）五水和物の投与に起因する可能性がある臨床症状は観察されなかった。ラットの脾臓において鉄が減少したために、マウスの脾臓の切片について鉄

を染色した結果、投与群と対照群で脾臓の鉄陽性顆粒の量に差は認められなかった。

Hébert ら（1993）は、92 日間反復投与試験及び 15 日間反復投与（混餌及び飲水）の結果を総合して、被験物質により前胃腺胃境界縁の過形成と角化亢進が引き起こされたとし、マウスにおける NOEL を 2,000ppm と判断している。（参照 117）【71（硫酸銅 85）】

OECD（2014）及び ECHA（2013）は、92 日間反復投与試験における NOAEL を 2,000ppm（銅として雄 97.2 mg/kg 体重/日、雌 125.7 mg/kg 体重/日）としている。（参照 42、118）【追 2（硫酸銅 46）、134（硫酸銅 86）】

本ワーキンググループは、前胃の所見が認められたことから、NOAEL を 2,000ppm と判断した。

【第 21 回 WG の記載】

高須専門委員：

硫酸銅の評価時と同様に、NOAEL は 2000 ppm でよろしいかと思います。

高橋専門委員：

NOAEL を 2,000ppm と判断する事務局案に同意いたします。

g. ラット 60 日間反復経口投与試験（Sugawara ら（1995）；グルコン酸銅 評価書（2004）にて引用）

F344 ラット（雌、各群 6 匹）に塩化銅を表 49 のとおり投与群を設定して、60 日間混餌投与する試験が実施されている。

表 49 用量設定

用量設定（銅として）（ppm）	7（対照群） ^注	150	300	600
-----------------	---------------------	-----	-----	-----

注）基礎飼料に含まれる銅の量は 7ppm

その結果、体重の増加への影響は観察されていないが、300 及び 600ppm 投与群で血清 AST 及び ALT 活性が対照群に比べ上昇した。また、600ppm 投与群で対照群に比べ肝臓中銅濃度が顕著に増加し、すべての投与群で腎臓中銅濃度が対照群に比べ増加した。（参照118）【130（グルコン酸銅（第 1 版）17）】

本ワーキンググループは、本試験は銅摂取時の肝、腎、脾、脳内の濃度を検証する実験であり、AST・ALT 以外の影響は不明であることから、NOAEL を得ることはできないと判断した。

【第 21 回 WG の記載】

高須専門委員：

本試験は、銅摂取時の肝、腎、脾、脳内の濃度を検証する実験であり、AST・ALT 以外の影響は不明であることから、NOAEL を得ることはできないのと考えます。

高橋専門委員：

NOAELを得ることができないとする事務局案に同意いたします。反復投与毒性を見るための試験とは異なるため、参考資料にはいかがでしょうか。

③ グルコン酸塩類

添加物評価書「グルコン酸亜鉛（第2版）（2015年）」において、グルコン酸塩類を被験物質とした以下のa.～d.の知見が検討されている。（参照21）

【28】それ以外に、新たな知見は提出されていない。

a.グルコン酸ナトリウムのラット 4週間強制経口投与試験（JECFA(1999)）引用（Mochizuki(1995)）

SDラット（各群雌雄各12匹）にグルコン酸ナトリウムを表50のような投与群を設定して4週間強制経口投与する試験が実施されている。

表50 用量設定

用量設定 mg/kg 体重/日	0	500	1,000	2,000
--------------------	---	-----	-------	-------

その結果、2,000mg/kg 体重/日投与群で尿中ナトリウム量の増加等の所見が認められ、MochizukiはNOELをグルコン酸ナトリウムとして1,000mg/kg 体重/日としているが、JECFAは動物数が少ないこと、投与群の尿定性分析結果に陽性所見が見られること等の理由により、NOELを判断できないとしている。（参照23）【18（グルコン酸亜鉛（第2版）17）】

食品安全委員会は、添加物評価書「グルコン酸亜鉛（第2版）（2015年）」において、JECFAは動物数が少ないこと、手技に問題があること等の理由によりNOAELを判断できないとしている。

本ワーキンググループは、同評価書における本試験についての判断を踏まえ、詳細が確認できないことから、NOAELを得ることはできないと判断した。

【第21回WGの記載】

高須専門委員：

「グルコン酸亜鉛（第2版）（2015年）」では、「JECFAは動物数が少ないこと、手技に問題があること等の理由によりNOELを判断できないとしている。」とされています。また、元の資料が確認できないため、JECFAの判断の詳細は確認することは困難です。

高橋専門委員：

元資料を確認できないため、NOAELを得ることができないとする事務局案に同意いたします。

b.グルコン酸ナトリウムのラット 28日間混餌投与試験（JECFA(1999)）で引用

(Mochizuki (1997))

SD ラット（各群雌雄各 10 匹）にグルコン酸ナトリウムを表 51 のような投与群を設定して 28 日間混餌投与する試験が実施されている。

表 51 用量設定

用量設定 (%)		0	1.25	2.5	5
mg/kg 体重/日として換算	雄	0	1000	2000	4100
	雌	0	1000	2000	4400

その結果、用量依存性の認められる所見はなく、Mochizuki は NOEL をグルコン酸ナトリウムとして 4,100 mg/kg 体重/日としているが、JECFA は動物数の少ないこと、(2.5%以上の) 投与群の尿定性分析結果に陽性所見が見られること等の理由により NOEL を判断できないとしている。(参照 23) 【18 (グルコン酸亜鉛 (第 2 版) 17)】

食品安全委員会は、添加物評価書「グルコン酸亜鉛 (第 2 版) (2015 年)」において、JECFA は動物数が少ないこと、手技に問題があること等の理由により NOEL を判断できないとしている。

本ワーキンググループは、同評価書における本試験についての判断を踏まえ、詳細が確認できないことから、NOAEL を得ることはできないと判断した。

[第 21 回 WG の記載]

高須専門委員：

「グルコン酸亜鉛 (第 2 版) (2015 年)」では、「JECFA は動物数が少ないこと、手技に問題があること等の理由により NOEL を判断できないとしている。」とされています。また、元の資料が確認できないため、JECFA の判断の詳細は確認することは困難です。

高橋専門委員：

元資料を確認できないため、NOAEL を得ることができないとする事務局案に同意いたします。

c. グルコン酸のイヌ、ネコ 14 日間強制経口投与試験 (JECFA(1999)) で引用 (Chenoweth(1941))

ネコ (5 匹) 又はイヌ (3 匹) にグルコン酸 (1 g/動物/日) を 14 日間強制経口投与する試験が実施されている。

その結果、3 匹のネコに嘔吐と下痢が散見されたが、投与動物の主要臓器及び消化管の病理検査で毒性所見は認められなかったとされている。(参照 23)

【18 (グルコン酸亜鉛 (第 2 版) 17)】

本ワーキンググループは、本試験は単用量の試験であり、毒性試験所見が少ないこと、毒性試験として一般的でないネコが使用されていること、試験の詳細が確認できないこと等から、NOAEL を得ることはできないと判断した。

[第 21 回 WG の記載]

高須専門委員：

単用量の試験、毒性試験として一般的でないネコであること、試験の詳細が確認できないこと、動物数が少数であること等から、NOAELを得ることはできないと考えます。

高橋専門委員：

単用量であること、元資料を確認できないことから NOAEL を得ることができないとする事務局案に同意いたします。

d.グルコノ-δ-ラクトンのラット 29 か月間混餌投与試験 (JECFA(1999)) で引用 (van Logten(1972))

ラット (雌雄各 20 匹) にグルコノ-δ-ラクトン² (0.4%) を 29 か月間混餌投与して対照群と比較する試験が実施されている。

その結果、摂餌量、血液学検査、生化学検査、肝機能、病理組織学的検査において対照群との間に差はなく、毒性所見は認められなかったとされている。(参照 23) 【18 (グルコン酸亜鉛 (第 2 版) 17)】

本ワーキンググループは、本試験は単用量の試験であることから、NOAEL を得ることはできないと判断した。

[第 21 回 WG の記載]

高須専門委員：

単用量の試験であることから、NOAEL を得ることはできないのと考えます。

[第 21 回 WG の記載]

(再掲)

松井専門委員：

グルコン酸ではなくグルコノ-δ-ラクトン投与試験ですので、説明が必要です。水中ではグルコノ-δ-ラクトンとグルコン酸が平衡状態となっている報告 (Sawyer & Bagger, 1959) がありますので情報提供します。この論文を脚注で示すこと等が考えられます。ご検討ください。

毒性でもグルコノ-δ-ラクトン投与試験が記載されています。毒性でも、ここでの脚注番号を付けた方が良いでしょう。

事務局より：

松井専門委員より情報提供いただきました論文を脚注で示すことについて、ご検討ください。

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

[第 21 回 WG の記載]のご意見を踏まえ、脚注に追記いたしました。

高橋専門委員：

単用量であること、元資料を確認できないことから NOAEL を得ることができないとする事務局案に同意いたします。

(4) 発がん性試験

① グルコン酸銅

ラット 8 週間中期肝発がん性試験 (Abe ら (2008)) (参考資料)

以下の知見は イニシエーション処理をしたモデルによる検討であるため、グルコン酸銅の発がん性評価に用いることはできないものの、肝発がんプロモーション作用を検討した知見であるため、発がん性の参考資料として記載する。

F344 ラット (雄、各群 9~12 匹) に、表 50 のとおり、イニシエーション処

理としてN-ニトロソジエチルアミン（DEN）200 mg/kg 体重を腹腔内単回投与し、2週間後にプロモーション処理としてグルコン酸銅（~~0、10、300、6,000 ppm~~）を食餌飼料に添加して6週間混餌投与し、肝臓に対する発がんリスクを評価する中期肝発がん性試験が実施されている。また、同被験物質を同じ用量設定でF344ラット（雄、各群5匹）に2週間にわたり混餌投与する試験も実施されている。

表 50—用量設定

群	最終評価動物数	イニシエーション処理 —(2週間)—	プロモーション処理 —(6週間)— ^{注3)}
~~1群~~	~~8~~	初日にDEN (200 mg/L) を腹腔内単回投与	~~無処理^{注1)}~~
~~2群~~	~~11~~		~~グルコン酸銅 10ppm^{注4)} 混餌投与~~
~~3群~~	~~10~~		~~グルコン酸銅 300ppm 混餌投与~~
~~4群~~	~~9~~		~~グルコン酸銅 6000ppm 混餌投与~~
~~5群~~	~~8~~	媒体 ^{注2)} 単回腹腔内投与	~~無処理^{注1)}~~
~~6群~~	~~6~~		~~グルコン酸銅 6000ppm 混餌投与~~

注1)：標準飼料を摂取。

注2)：DENの媒体。0.9%NaCl溶液

注3)：伊藤法プロトコールに従い、投与開始1週間目に肝臓の2/3を切除

注4)：銅として0.12 mg/kg 体重/日、ヒト換算では約14 mg/ヒト/日に相当（原著記載内容より）

中期肝発がん性試験の結果、グルタチオン S-トランスフェラーゼ胎盤型 (GST-P)陽性肝細胞（単細胞）の数、あるいは肝細胞の8-オキシグアニン陽性および細胞増殖とアポトーシスの指数は、イニシエーション処理、非処理ともに6,000 ppm 投与群で、GST-P 陽性細胞単はイニシエーション処理 6,000 ppm 投与群で、有意に増加した。一方、短期間試験では肉眼的及び組織学的にグルコン酸銅に関連する変化は検出されなかった。また、金属代謝、炎症、およびアポトーシスに関連する遺伝子の肝臓の mRNA 発現は、中期肝臓バイオアッセイおよび短期実験の両方において、グルコン酸銅 6,000 ppm 群で上昇した。これらの結果から、著者らは、グルコン酸銅の単独投与群では、肝臓での GST-P 陽性病変を誘発せず、発がんイニシエーターにはならないことが

示唆されるが、グルコン酸銅が高用量レベルで肝臓に対して発がんリスクを有するが、グルコン酸銅の発がんプロモーション作用には閾値があり、安全域も広いと考察している。（参照119）【136】

[第 21 回 WG の記載]

高須専門委員：

発がんプロモーション作用を検討する試験であることから、参考資料が適当と考えます。

[第 22 回 WG の記載]

事務局より：

第 21 回 WG の議論を踏まえ、参考資料へと記載を変更しました。

高須専門委員：

参考資料とする理由は、試験を記載する前に入れた方がいいと思います。

また、文章は、

以下の知見はイニシエーション処理をしたモデルによる検討であるため、グルコン酸銅の発がん性評価に用いることはできないものの、肝発がんプロモーション作用を検討した知見であるため、発がん性の参考資料として記載する。

とするのはいかがでしょうか。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を修正いたしました。

事務局より：

第 22 回 WG のご議論を踏まえ、参考資料とする理由の記載の修正、表の削除をし、加えて分量を減らしましたので、修正した記載をご確認ください。

高橋専門委員：

参考資料とする事務局案に同意いたします。

② 銅塩類

銅塩類を被験物質とした発がん性に関する試験成績は提出されていない。要請者は、環境省、化学物質の環境リスク初期評価を引用し、発がん性については十分な知見が得られず、ヒトに対する発がん性の有無は判断できない。としている。（参照120）【51】

③ グルコン酸塩類

グルコン酸塩類を被験物質とした発がん性に関する試験成績は提出されていない。要請者は食品安全委員会 添加物評価書 グルコン酸亜鉛（第2版）の記載を引用し「グルコン酸塩類の発がん性に係る試験成績は認められなかった。」としている。（参照 21）【28】

（５）生殖発生毒性試験

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

① グルコン酸銅

a. ラット生殖毒性試験（FDA（1979））

Wistar ラット（雌雄：各群匹数不明）に、グルコン酸銅を、表 52 のとおり投与群を設定して、交配前投与期間 15 日の雌では妊娠期間と分娩後 21 日まで強制経口投与し、交配前投与期間 60 日の雄と雌に対しても強制経口投与し、雄雌雌雄の生殖能力、並びに母動物と児動物を検査する試験が実施されている。

表 52 用量設定

投与対象	用量(mg/kg 体重/日) (括弧内は銅としての用量 ^{注1})	処置：交配前 15 日間、または交配前 60 日間	処置：妊娠期間～分娩後 21 日
雌	3 (0.42)	交配前 15 日から投与 無処置雄と交配	投与継続
雌	30 (4.2)	交配前 15 日から投与 無処置雄と交配	投与継続
雄	3 (0.42)	交配前 60 日から投与 無処置雌と交配	無処置
雄及び雌	3 (0.42)	交配前 60 日から投与 投与雄と投与雌を交配	無処置
なし	－[無処置対照]	無処置 ^{注2} 無処置雄と無処置雌を交配	無処置

注 1：FDA 評価書による換算値、計算式不明

注 2：詳細説明はないが、投与群の評価は対照群との比較という記載あり。

グルコン酸銅をラットに投与した結果、雄雌雌雄の生殖能力を阻害することとはなかった。同腹胎児数、同腹生存哺育児数、着床数、死亡吸収胚数、妊娠期間、および及び哺育児体重に関して、対照ラットと処置ラットの間に有意差はなかった。分娩後 21 日にすべての群の母動物と児動物を剖検した結果、肉眼的内臓異常は見られなかった。

第 8 版食品添加物公定解説書（2007）「グルコン酸銅」では、いずれの群でも対照群同様に、妊娠の成立と維持、胎児及び新生児の発育、内臓の肉眼検査でも異常を認めなかったとしている。（参照121）【137（硫酸銅 103）】

b. マウス、ラット発生毒性試験（（FDA（1979））

Swiss-Webster マウス（妊娠雌、各群 20 匹）及び Wistar ラット（妊娠雌、各群 20 匹）に、グルコン酸銅を、表 53 のとおり投与群を設定して、マウスは妊娠 6～14 日まで、ラットは妊娠 5～15 日まで強制経口投与し、胎児毒性及び催奇形性を調べる試験が実施されている。

表 53 用量設定

用量設定 (mg/kg 体重 / 日)	0 (対照群)	0.1	3.0	30
銅として換算 (mg Cu/kg 体重/日) 注	0	0.014	0.42	4.2

注：FDA 評価書による換算値、計算式不明

その結果、マウスでは、胎児毒性または催奇形性の兆候は示されなかった。投与群の胎児身長、胎児体重、同腹胎児数、及び骨格異常と内臓異常の出現頻度には、対照群との差は認められなかった。ラットにおいても、検査したパラメーターのいずれにも、投与群と対照群との間に有意差は見られなかった。第 8 版食品添加物公定解説書（2007）「グルコン酸銅」では、これらの試験を総括して、胎児毒性、催奇形性は見られず、胎児の発育、軟及び骨組織の異常も見られなかったとしている。（参照 121）【137（硫酸銅 103）】

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

北條専門参考人より、(5) 生殖発生毒性 ①グルコン酸銅 a, 及び b. は参考資料としての扱いでもよいと考えるご指摘をいただいております（詳細な理由は参考資料 1 をご参照ください）。当該項目を参考資料とすることについて、理由とともにご検討ください。

② 銅塩類

硫酸銅を被験物質とした知見については、以下のとおりである。

a. ラット 2 世代生殖毒性試験（Mylchreest（2005）（非公表）GLP；OECD（2014）及び ECHA（2013）にて引用）

SD ラット（雌雄の親動物、P1 世代：各群 30 匹、F1 世代：各群 30 匹）に、硫酸銅（II）五水和物を、表 54 のとおり投与群を設定して、P1 世代では、交配開始前に少なくとも 70 日間とその後、P1 雄は試験開始後 109～113 日まで、P1 雌は分娩後 21 日まで混餌投与し、F1 世代では、21 日齢の離乳時から交配開始前に少なくとも 70 日間とその後、F1 雄は試験開始後 119 日まで、F1 雌は分娩後 21 日まで混餌投与する試験が実施されている。P1 及び F1 親動物は上記の投与期間終了時に、F1 及び F2 児動物（離乳児）は離乳日

に、それぞれ剖検した。そのほか、各投与群の P1 及び F1 親動物並びに P1 及び F1 離乳児について、肝臓、脳又は血漿に含まれる銅、鉄、マンガン及び亜鉛の濃度を測定した。

表 54 用量設定

用量設定 (ppm) (硫酸銅 (II) 五水和物) として	0 (対照群)	100	500	1,000	1,500
--------------------------------	---------	-----	-----	-------	-------

各投与期間における被験物質摂取量を表 55 に示す。

表 55 投与期間ごとの被験物質摂取量

	世代、性別及び時期		投与用量 (硫酸銅 (II) 五水和物として) (ppm)			
			100	500	1,000	1,500
摂取量 (mg Cu/kg 体重/日) (銅として)	P1雄	交配開始前 70 日間	1.53	7.7	15.2	23.6
	P1雌	交配開始前 70 日間	1.92	9.6	19.1	29.5
		妊娠期間	1.67	8.6	17.0	26.2
		哺育開始後 14 日間	3.39	17.7	33.8	55.7
	F1雄	交配開始前 70 日間	2.25	11.5	23.5	36.1
	F1雌	交配開始前 70 日間	2.65	13.3	26.7	43.8
		妊娠期間	1.69	8.5	17.1	26.5
		哺育開始後 14 日間	3.27	17.6	35.2	55.4

その結果、親動物に認められた毒性所見は表 56 のとおりである。F1 親動物に毒性所見は認められなかった。

表 56 毒性所見 (親動物)

投与群	雄	雌
1,500ppm	所見なし	P1 : 脾臓の重量減少 (絶対重量及び相対重量)

そのほか、以下の所見が認められた。

- ・ P1 及び F1 親動物の雌雄では、被験物質投与群において体重又は体重増加量の有意な増加あるいは減少が観察されたが、その程度は小さく散発的で、用量相関性が見られないことから、被験物質投与と関係ないとしている。
- ・ 1,500ppm 投与群の P1 雌及び F1 雌の肝臓に含まれる銅の濃度が増加した。脳に含まれる銅の濃度は、1,500ppm 投与群の F1 雌で増加した。
- ・ 1,500ppm 投与群の P1 雌では、肝臓に含まれる鉄の濃度が減少した。

なお、親動物の一般状態、臓器 (生殖器、内分泌器官、肝臓、腎臓、脳) 重

量及び病理検査に被験物質投与の影響は認められなかった。

生殖能力に関しては、以下の所見が認められた。

・1,500ppm 投与群の F1 雌では膣開口時の平均日齢（33.6 日）が対照群の平均日齢（32.1 日）と比べて高値で膣開口が遅延したが、背景対照データ（31.3～33.9 日）の範囲内であり、被験物質投与の影響ではないとしている。

なお、P1 及び F1 親動物において、精子検査、発情周期、交尾率、受胎率、妊娠期間、平均着床痕数、平均出産児数、及び F1 雄の包皮分離に被験物質投与の影響は認められなかった。

児動物に認められた毒性所見は表 57 のとおりである。

表 57 毒性所見（児動物）

投与群	F1 離乳児（雌雄）	F2 離乳児（雌雄）
1,500ppm	・脾臓の重量減少（絶対重量 ^注 ）	・脾臓の重量減少（絶対重量及び相対重量）

注）相対重量に統計的有意差はないが対照群と比較して 10%程度減少

そのほか、以下の所見が認められた。

・1,000 及び 1,500ppm 投与群では、雌雄 F1 及び F2 離乳児の肝臓に含まれる銅の濃度が増加した。脳に含まれる銅の濃度は、1,500ppm 投与群の雄の F1 及び F2 離乳児で増加した。1,500ppm 投与群の雌雄の F2 離乳児では、血漿に含まれる鉄の濃度が減少した。（参照 42、117）【追 2（硫酸銅 46）、134（硫酸銅 86）】

なお、F1 及び F2 児動物については、出生時の同腹児数、出生時の生存児数、性比、哺育 4 日の生存率、哺育率、体重並びに離乳児の臓器（肝臓、脳、胸腺）重量及び病理検査（肝臓、脳）に被験物質投与の影響は認められなかった。

以上の結果から、ECHA（2013）では、生殖毒性に係る NOEL を最高用量の 1,500ppm としている。また、1,500ppm 投与群の P1 雌親動物並びに雌雄の F1 及び F2 離乳児で脾臓の重量が減少したことに基づき、親動物及び児動物の一般毒性に係る NOEL を 1,000ppm としている。（参照 117）【134（硫酸銅 86）】

OECD（2014）では、本試験で認められた脾臓の重量の低下は生殖影響とは考え難く、本試験の結果は他の毒性試験の結果と併せて判断すべきであるとしている。（参照 42）【追 2（硫酸銅 46）】

本ワーキンググループとしては、親動物の生殖能力に対する影響が認めら

れないことから、本試験における生殖毒性に係る NOAEL を最高用量の 1,500ppm (23.6 mg/kg 体重/日) と判断した。また、1,500ppm 投与群の P1 雌親動物並びに雌雄の F1 及び F2 離乳児において脾臓の重量減少が認められたことから、親動物の一般毒性及び児動物に対する毒性に係る NOAEL を 1,000ppm (15.2 mg/kg 体重/日) と判断した。(参照 22) 【29】

そのほかの銅塩類を被験物質とした生殖発生毒性に関する試験成績は提出されていない。

③ グルコン酸塩類

グルコン酸塩類を被験物質とした生殖発生毒性に関する知見は提出されていない。

(6) アレルゲン性試験

グルコン酸銅、銅塩類並びにグルコン酸塩類を被験物質としたアレルゲン性に関する知見は提出されていない。

(7) 毒性試験のまとめ

グルコン酸銅には、生体にとって特段問題となる遺伝毒性はないと判断した。

反復投与毒性試験については、ラットにグルコン酸銅 (1,600ppm) を 40～44 週間混餌投与した反復投与試験 (Harrison ら (1954)) において、30～35 週の間に 83% が死亡し、剖検の結果、胃では全体の拡張、前胃・腺胃境界部の過形成、潰瘍、腸粘膜の出血がみられた。しかし、本試験は被験物質投与群が 1 用量のみであるため、当該試験結果からグルコン酸銅の NOAEL を推定することは不可能と判断した。

~~発がん性試験については、イニシエーション処理を行ったラットに 6,000ppm のグルコン酸銅を投与したところ、対象群に比べて GST-P 陽性細胞巢の数が優位に増加した。これはグルコン酸銅の単独投与では発がんイニシエーターにならないことが示唆されており、グルコン酸銅の発がんプロモーション作用には閾値があり、安全域も広いと考察されている。~~

生殖発生毒性については、ラット 2 世代生殖毒性試験 (Mylchreest (2005)) において、親動物の生殖毒性に係る NOAEL を本試験の最高用量である 1,500ppm 投与群から算出した 23.6 mg Cu/kg 体重/日 ~~-(銅として)~~ と判断した。また、脾臓の重量減少が見られたことから、親動物の一般毒性及び児動物に対する毒性に係る NOAEL を 1,000ppm 投与群から算出した 15.2 mg Cu/kg 体重/日 ~~-(銅として)~~ と判断した。

アレルゲン性試験は提出されていない。

以上より、最小の NOAEL は、ラット 2 世代生殖毒性試験 (Mylchreest (2005))

1 の1,000ppm 投与群から算出した 15.2 mg Cu/kg 体重/日 ~~—(銅として)—~~と判断し
2 た。

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

現時点の評価書案に基づき、(7) 毒性のまとめを作成しております。新たに提出された知見等を踏まえ、盛り込むべき事項等があるかご確認ください。

なお、(1)～(6)の議論の結果を踏まえて追って修正する可能性があります。

事務局より：

発がん性試験に係る知見を参考資料としましたので、毒性試験のまとめの項目からは記載を削除いたしました。

4. 安全性に係る知見の概要のまとめ

事務局より：

追って作成します。

Ⅲ. 一日摂取量の推計等

[第 21 回 WG の記載]

事務局より：

参考資料 1 の摂取量推計の欄では概要書の引用文献と本評価書案の引用文献の対応関係を一覧表にしております。(例：概要書の引用文献番号 3 番は、評価書案の引用文献番号 20 番に該当します。)

評価書案に記載した引用文献の妥当性の確認の観点から、概要書には引用されており評価書案に追記が必要な文献や、評価書案から削除が必要な文献があるか、参考資料 1 を参考にご確認ください。

朝倉専門委員：

69 ページ 27 行目～「また、総合栄養食品からの摂取エネルギーはおおよそ 1,000～2,000 kcal と考えられるとされている。(参照 97)【157】」とありますが、参照 97【157】は、総合栄養食品からの摂取エネルギーを述べた文献ではなく、一般的な病院食からの摂取エネルギーを述べた文献です。この文献を引用するのであれば、「・・・と報告されており(参照 97)【157】、これらの情報を勘案すると、総合栄養食品からの摂取エネルギーは多く見積もっておおよそ 1,000～2,000 kcal と考えられる。」とするのが正しいのではないのでしょうか。総合栄養食品は、通常の食事を補うものとして部分的にプラスされるのが一般的であると考えます。総合栄養食品のみで 1 日の食事を済ませるような人/患者がどの程度いるのか、情報があったほうが望ましいと考えます。

ほかの文献は適切であると考えます。

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

ご指摘の、病院食の代替として総合栄養食品のみを摂取する人/患者の情報につきまして、概要書等を再度確認いたしました。現時点では確認ができませんでした。

7 規格基準改正要請者によれば、添加物「グルコン酸銅」は、今般の使用基準改正
8 (以下「本改正」という。)により総合栄養食品(病院食の代替)に使用が認められ
9 るため、本改正は、使用拡大の対象となる総合栄養食品(病院食の代替)を摂取し
10 ない一般のヒトにおける銅の摂取量に変更を及ぼすものではなく、病院食の代替と
11 して総合栄養食品から銅を摂取するヒトにおいてのみ摂取量の変更が生じうるも

のと考えた。

本項では、一般のヒトにおける銅の一日摂取量とともに、通常の食事摂取が不十分な者の食事代替品として摂取される総合栄養食品に由来する銅の一日摂取量についてそれぞれまとめた。

【第 21 回 WG の記載】

石見専門委員：

P68L8&13 「病院食の代替」について、解釈において誤解が生じる可能性があるため、表現の検討が必要ではないでしょうか（病院でも使用しているため）。基準の通り「通常の食事摂取が不十分な者の食事代替品」としては如何でしょうか。

事務局より：

ご意見を踏まえ、記載を修正いたしました。

併せて、「2. 病院食の代替として摂取される総合栄養食品に由来する銅の一日摂取量」の記載も同様に修正するか、ご検討ください。

1. 一般のヒトの銅の一日摂取量

一般のヒトの銅の摂取量については、通常の食事から摂取する銅の量を推計することとする。現在の使用基準でグルコン酸銅の使用が認められている母乳代替食品、特定保健用食品及び栄養機能食品については、すべてのヒトが摂取するものではないことから、個別の考慮はしないこととする。

「令和 5 年国民健康・栄養調査の結果」によれば、食事から摂取される銅の一日摂取量の平均値は、20 歳以上で 1.10 mg/人/日（男性 1.18 mg/人/日、女性 1.03 mg/人/日）であるとされている。（参照122）【追 17】

「平成 17 年度マーケットバスケット方式による栄養強化剤、乳化剤の摂取量調査の結果について」によれば、マーケットバスケット方式による摂取量調査の結果、栄養強化剤としての銅（添加物「グルコン酸銅」及び添加物「硫酸銅」に由来するもの）の推定一日摂取量は、0.46 mg/人/日であったとされている。（参照123）【154（グルコン酸亜鉛（第 2 版）88）】

Shinozaki ら（2023）が実施した食事記録調査によれば、食事から摂取される銅の一日摂取量は、18～79 歳の男性で平均 1.10 mg/人/日～1.40 mg/人/日（年代別）、18 歳～79 歳の女性で平均 0.90 mg/人/日～1.30 mg/人/日（年代別）である。

（参照124、125）【158a、158b】

これらより、最新の知見に基づく一般のヒトの食事からの銅の摂取量は、過小にならないよう留意し、平均値の中で最も値が大きい 1.40 mg/人/日とする。

【第 21 回 WG の記載】

事務局より：

指針における摂取量の推計では、「食品等からの摂取量を併せて考慮する場合には、その平均値のみならず中央値や分布も検討するとともに、摂取量の最大値も検討する。食品の一日摂取量は、国民健康・栄養調査の食品群別摂取量又はその他の資料等により適切に推定する。」とされています。そのため、基本的には国民健康・栄養調査などの平均値を用いて推計を行うこと

が想定されます。

なお、評価書「グルコン酸亜鉛（第2版）」【28】の一日摂取量の推計では、「食品からの亜鉛の摂取量については、「平成14年国民健康・栄養調査の結果」による18～19歳の男性の摂取量の95パーセンタイル値（16.3 mg/人/日）としている。」とされております。

朝倉専門委員：

総合栄養食品を摂取する状態の人が多量に摂食することは考えにくいので、本件については平均値の検討で良いと考えます。

石見専門委員：

総合栄養食品は、経口摂取が困難な方ならびに消化管機能が低下している方の経管栄養として利用されていることから、栄養補給を総合栄養食品のみに依存している場合があります。したがって95パーセンタイル値も参考にする必要があると考えます。

石見専門委員：

令和6年12月10日内閣府令「特別用途表示の許可等に関する内閣府令」別表3、基準、には以下の記載があります。「経管栄養」については、当初記載がありませんでしたが、実態に沿った基準として業界の要望により法令に追記されました。実際に病院、療養型病院、特別養護施設などで経口摂取が困難な方では、経管栄養のみに依存している方がおられると認識しております（特別用途表示の許可に関する委員会における議論から）。本件につきまして、概要書には記載がありませんので、流動食協会にお尋ねいただければ幸いです。

1 次に掲げる全ての規格を満たすものであること。

一 疾患等により通常の食事摂取が不十分な者の食事代替品として、経口摂取又は経管栄養が必要な者が利用できるよう、液状又は半固形状といった適度な流動状のものであること。

二 表1の栄養成分の欄に掲げる区分に応じ、それぞれ同表の100kcal当たりの栄養成分の量の欄に掲げる基準値を満たしているものであること（個別に調整した栄養成分等にあつては、この限りでない。）。また、表2の栄養成分の欄に掲げる区分に応じ、それぞれ同表の100kcal当たりの栄養成分の量の欄に掲げる値を勘案したものであること。

2 粉末状等の食品にあつては、申請者があらかじめ指定したとおりに調製した後の状態において、1の規定を適用することができるものであること（個別に調整した栄養成分等にあつては、この限りでない。）。

1

【第21回WGの記載】

石見専門委員：

文献156は令和元年の国民健康・栄養調査の結果です。現在厚生労働省HPには令和4年に実施された調査結果の概要が掲載されていることから、最新の値を参考にしては如何でしょうか。値も若干変更になります。

事務局より：

厚生労働省HPを確認しましたところ、令和5年の国民健康・栄養調査の結果が掲載されておりますが、こちらを参考にして記載を修正することよろしいでしょうか。

石見専門委員：

最新の令和5年の調査結果が良いと考えます。

2

朝倉専門委員：

「2022年に評価された硫酸銅由来の銅が含まれていないため、」
→「2022年に評価された硫酸銅由来の銅（ぶどう酒に添加された銅）が含まれてい

ないため、」
としてはいかがでしょうか。

事務局より：

ご指摘を本文に反映いたしました。

また、飲料水からの摂取量は平成 17 年の水道水における銅の検出状況の報告を参考に、浄水・原水のいずれにおいても大部分で基準値の 2 %である 0.02 mg/L 以下であり、濃度 0.02 mg/L の水を 1 日当たり 2 L 摂取した場合として、0.04 mg/人/日を加算する。(参照 29) 【30】

加えて、上述の食事記録調査は調査の対象期間が 2016 年～2020 年であることから、2022 年に評価された硫酸銅由来の銅 (ぶどう酒に添加された銅) が含まれていないため、当該物質の評価書より摂取量の推計値である 0.093 mg/人/日を加算する。(参照 22) 【29】

以上より、日常的な生活における食事から摂取する銅の最大値は

$$1.40+(0.02\times 2)+0.093=1.533\text{ mg/人/日}$$

と算出した。

なお、大気における予測最大曝露濃度は 0.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (参照 120) 【51】 と非常に小さいため、大気からの吸入曝露を推計に加算する必要性は低いと考える。

2. 通常の食事摂取が不十分な者の食事代替品として摂取される総合栄養食品を摂取するヒトに由来するの銅の一日摂取量

事務局より：

規格基準改正者より提出された補足資料を基に、総合栄養食品の使用実態に基づいた記載を追記いたしましたので、ご確認お願いいたします。

朝倉専門委員：

「病院食の代替として総合栄養食品から銅を摂取するヒトにおける銅の一日摂取量は、最大で 5.0 mg/人/日となると・・・」

→「病院食の代替として総合栄養食品から銅を摂取するヒトにおける銅の一日摂取量は、総合栄養食品からのエネルギー摂取量を過大な可能性はあるものの 2000kcal と見積もると、最大で 5.0 mg/人/日となると・・・」

としてはいかがでしょうか。

片桐専門委員：

総合栄養食品を摂取するヒトは健常ではないことが考えられるがの部分、表記の方法として

総合栄養食品は通常の食事摂取が難しい場合にその代替として選択されると考えられるが、
などの方がよいと思いました。

事務局より：

ご指摘を本文に反映いたしました。

石見専門委員：

この度の申請者からの調査報告では、総合栄養食品を経管栄養として使用し、一日の摂取エネルギーをすべて総合栄養食品から摂取する場合の摂取エネルギーは、医療機関では最大 1,500 kcal であり、特別養護老人ホームでは 1,000 kcal であると報告されたこと、静脈経腸栄養ガイドラインにおいて経口摂取が難しい方の一日の摂取エネルギーの目安を、体重 40 kg と想定する場合 1,200kcal としていること、さらに中村らの報告で 2,000 kcal を摂取しているのは常食者であることから、エビデンスに基づき、当該部分を「総合栄養食品からのエネルギー摂取量を 1,500kcal と見積もると、最大で 3.75 mg/人/日となると考えられる」とすることが適当であると考えます。

一方、総合栄養食品からの摂取エネルギーを 1,500kcal と見積もった場合には、使用量の制限は、 $5 \text{ mg} \div 100 / 1500 = 0.33 \text{ mg} / 100 \text{ kcal}$ となります。この場合、病院食の代替として総合栄養食品を摂取する場合の一日の最大摂取量は、 $0.33 \text{ mg} / 100 \text{ kcal} \times 1,500 \text{ kcal} = 4.95 \text{ mg} / \text{人} / \text{日}$ となります。

総合栄養食品を摂取する場合は、総合栄養食品を経管栄養（経鼻経管または胃ろう）として使用し一日の摂取エネルギーをすべて総合栄養食品から摂取する場合と総合栄養食品を補助食品として通常の食事に加えて総合栄養食品を摂取する場合が想定されるため、それぞれの場合について、総合栄養食品に由来する銅の一日摂取量を推計する。

（１）一日の摂取エネルギーをすべて総合栄養食品から摂取する場合

中村ら（2001）の報告によると、関東地域の４カ所の総合病院で実施された夏期献立のエネルギー及び銅含有量の平均値（連続する７日間）は、それぞれ五分粥食で 1,334.3 kcal 及び 0.95 mg、全粥食で 1,679.2 kcal 及び 1.08 mg、常食で 2,099.9 kcal 及び 1.38 mg と報告されており（参照126）【157】、これらの情報を勘案すると、総合栄養食品からの摂取エネルギーは多く見積もっておおよそ 1,000～2,000 kcal と考えられる。添加物評価書「グルコン酸亜鉛（第２版）」（2015 年 1 月）では、総合栄養食品から銅を摂取する人における一日最大量の算出において、総合栄養食品からの摂取エネルギーを 2,000 kcal/人/日としている。（参照 21）【28】

1 要請者が行ったアンケート⁵⁵によると、医療機関で総合栄養食品のみを摂取する
2 場合の一日摂取エネルギーは最大 1,500kcal、特別養護老人ホームで総合栄養食品
3 のみを摂取する場合の一日摂取エネルギーは最大 1,000kcal と考えられるとされ
4 た。(参照127)【追 21】

5 仮に、使用基準改正案の最大値である銅として 0.25 mg/100 kcal となるように
6 グルコン酸銅を総合栄養食品に配合した場合、病院食の代替として総合栄養食品か
7 ら銅を摂取するヒトにおける銅の一日摂取量は、総合栄養食品からのエネルギー摂
8 取量を過大な可能性はあるものの 2,000kcal と見積もると、最大で 5.0 mg/人/日と
9 なると考えられる。(参照 21)【28】

10 11 (2) 通常の食事に加えて総合栄養食品を摂取する場合

12 要請者が行ったアンケート⁵⁵によると、病院での総合栄養食品の使用量は最大で
13 1 日 3 本、介護保険施設での総合栄養食品の使用量は最大で 1 日 2 本であり、1 本
14 あたりの摂取エネルギーは 200kcal であったことから、通常の食事に加えた総合
15 栄養食品の摂取エネルギーは最大 600kcal と考えられるとされた。(参照 127)【追
16 21】

17 仮に、使用基準改正案の最大値である銅として 0.25 mg/100kcal となるようにグ
18 ルコン酸銅を総合栄養食品に配合した場合、通常の食事に加えて総合栄養食品から
19 摂取する銅の一日摂取量は、最大で 1.50 mg/人/日となると考えられる。

20 また、総合栄養食品は通常の食事摂取が難しい場合にその代替として選択される
21 と考えられるが、過大な見積もりとなることを前提に、一般のヒトが通常の食事以
22 外に最大 600kcal の総合栄養食品を摂取した場合、銅の一日摂取量は最大で 3.03
23 mg/人/日となると考えられる。

24
25 以上より、本ワーキンググループとしては、添加物「グルコン酸銅」の使用基準
26 改正に係る銅の推定一日摂取量は、一般のヒトにおいては 1.533 mg/人/日であり、
27 病院食の代替として一日の摂取エネルギーをすべて総合栄養食品から銅を摂取す
28 るヒトにおいては最大で 5.0 mg/人/日、通常の食事に加えて総合栄養食品を摂取す
29 るヒトにおいては最大で 3.03 mg/人/日となると判断した。

30 31 IV. 食品健康影響評価

事務局より：

追って作成します。

55 Web 機関に登録の管理栄養士を対象とした Web アンケート（実施期間：2025 年 10 月 6～8 日）であり、回答アンケートの解析対象は管理栄養士で専門職として登録されている 60 名とした。

1 <別紙：略称>

略称	名称等
<u>5-NT</u>	<u>5'-nucleotidase : 5-スクレオチダーゼ</u>
<u>ALT</u>	<u>Alanine aminotransferase : アラニンアミノトランスフェラーゼ</u>
<u>AST</u>	<u>Aspartate aminotransferase : アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ</u>
<u>CAS</u>	<u>Chemical Abstracts Service : ケミカル・アブストラクト・サービス</u>
<u>ECHA</u>	<u>European Chemicals Agency : 欧州化学機関</u>
<u>EFSA</u>	<u>European Food Safety Authority : 欧州食品安全機関</u>
<u>eSOD</u>	<u>erythrocyte superoxide dismutase : 赤血球スーパーオキシドジスムターゼ</u>
<u>FASEB</u>	<u>Federation of American Societies for Experimental Biology : 米国実験生物学会連合</u>
<u>FDA</u>	<u>Food and Drug Administration : 米国食品医薬品局</u>
<u>FSANZ</u>	<u>Food Standards Australia New Zealand : オーストラリア・ニュージーランド食品基準機関</u>
<u>GGT</u>	<u>γ-グルタミルトランスフェラーゼ</u>
<u>IOM</u>	<u>Institute of Medicine : 米国医学研究所</u>
<u>IPCS</u>	<u>International Programme on Chemical Safety : 国際化学物質安全性計画</u>
<u>JECFA</u>	<u>Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives : FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議</u>
<u>NAG</u>	<u>N-acetyl-β-glucosaminidase : N-アセチル-β-グルコサミニダーゼ</u>
<u>OECD</u>	<u>Organisation for Economic Co-operation and Development : 経済協力開発機構</u>
<u>SCF</u>	<u>Scientific Committee on Food : 欧州食品科学委員会</u>
<u>SCOGS</u>	<u>Select Committee on GRAS Substances : GRAS 物質に関する専門委員会</u>
<u>SDH</u>	<u>Sorbitol dehydrogenase : ソルビトールデヒドロゲナーゼ</u>
<u>SOD</u>	<u>superoxide dismutase : スーパーオキシドジスムターゼ</u>
<u>UL</u>	<u>Tolerable Upper Intake Level : 耐容上限摂取量</u>
<u>WHO</u>	<u>World Health Organization : 世界保健機構</u>

2
3

1 <参照>

[第 21 回 WG の記載]

松井専門委員：

文末脚注について、出版/公開/発行年をいれてください。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を追って修正いたします。

事務局より：

ご指摘を踏まえ、記載を全体的に整備いたしました。

2

- 1 【概要書】日本流動食協会：グルコン酸銅の使用基準拡大に係る要請資料，2025
- 2 【1】厚生労働省、消費者庁：第 10 版食品添加物公定書 D 成分規格・保存規
各条，2024
- 3 【33】扶桑化学工業株式会社：製品仕様書（ヘルシヤス Cu），2019
- 4 【45】アボット ジャパン株式会社：エネーボ®配合経腸用液 インタビューフォー
ム IV. 製剤に関する項目 4. 製剤の各種条件下における安定性 p18, 2017
- 5 【追 1】「日本人の食事摂取基準」策定検討会：日本人の食事摂取基準（2025 年
版）「日本人の食餌摂取基準」策定検討会報告書，2024
- 6 【32】川西 徹，穂山 浩，河村 葉子，佐藤 恭子：第 9 版食品添加物公定書解説
書、廣川書店、グルコン酸銅 p. D-774-777, 2019
- 7 【2（硫酸銅 16）】仲本 典正，平山 佳伸，松田 勉，山本 芳子：亜鉛塩類等 11
品目の指定，規格基 準の設定等について．食品衛生研究，1983；33(9)：831-
51
- 8 【5】食品衛生法施行規則の一部を改正する省令，食品，添加物等の規格基準の一
部を改正する件及び既存添加物名簿の一部を改正する件について（平成 16 年 12
月 24 日食安発第 1224001 号厚生労働省医薬食品局食品安全部通知）
- 9 【6】食品、添加物等の規格基準一部改正について（平成 27 年 3 月 20 日食安発第
0320 第 2 号厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知）
- 10 【追 13】厚生労働省、消費者庁：第 10 版食品添加物公定書 F 使用基準，2024
- 11 【8a】Codex Alimentarius：General Standard for Food Additives, Codex Stan
192-1995. p2. 2. DEFINITIONS
- 12 【13】FDA（Food and Drug Administration）：Code of Federal Regulations,
21CFR184.1260, 2014 (Jan.29, 2024) [https://www.ecfr.gov/current/title-
21/chapter-I/subchapter-B/part-184/subpart-B/section-184.1260](https://www.ecfr.gov/current/title-21/chapter-I/subchapter-B/part-184/subpart-B/section-184.1260)（アクセス日
2024 年 1 月 31 日）
- 13 【14】FDA（Food and Drug Administration）：Drug, and Cosmetic Act,
21USC 350a: Infant formulas
[https://uscode.house.gov/view.xhtml?hl=false&edition=prelim&req=granuleid
%3AUSC-prelim-title21-
section350a&num=0&saved=%7CKHRpdGxlOjIxIHNIY3Rpb246MzUwYSBIZGloaW9uOnByZWxpbSk%3D%7C%7C%7C0%7Cfalse%7Cprelim](https://uscode.house.gov/view.xhtml?hl=false&edition=prelim&req=granuleid%3AUSC-prelim-title21-section350a&num=0&saved=%7CKHRpdGxlOjIxIHNIY3Rpb246MzUwYSBIZGloaW9uOnByZWxpbSk%3D%7C%7C%7C0%7Cfalse%7Cprelim)（アクセス日
2024 年 1 月 31 日）
- 14 【11a】EU（European Union）：REGULATION (EC) No 1333/2008 OF THE
EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2008

-
- on food additives, ANNEX II, PART B, p.26
- 15 【11b】 EU (European Union) : REGULATION (EC) No 1333/2008 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 16 December 2008 on food additives, ANNEX II, PART C, p.42
- 16 【12a】 EU (European Union) : COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2016/127 of 25 September 2015, Official Journal of the European Union, 2.2.2016, L 25
http://data.europa.eu/eli/reg_del/2016/127/oj (アクセス日 2024 年 1 月 31 日)
- 17 【12b】 EU (European Union) : COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) 2016/127 of 25 September 2015, 02016R0127 — EN — 01.04.2022 — 005.001
http://data.europa.eu/eli/reg_del/2016/127/2023-03-17 (アクセス日 2024 年 1 月 31 日)
- 18 【15】 FSANZ (Food Standards Australia New Zealand) : Australia New Zealand Food Standards Code - Standard 1.3.1 - Food additives, 2019
<https://www.legislation.gov.au/Details/F2017C00312> (アクセス日 2025 年 7 月 16 日)
- 19 【17】 FSANZ (Food Standards Australia New Zealand) : Australia New Zealand Food Standards Code – Schedule 29 – Special purpose food., 2023
<https://www.legislation.gov.au/F2015L00463> (アクセス日 2024 年 2 月 1 日)
- 20 【3】 食品安全委員会：添加物 グルコン酸銅の使用基準改正に係る食品健康影響評価に関する審議結果（平成 16 年 5 月食品安全委員会）
- 21 【28】 食品安全委員会：添加物評価書 「グルコン酸亜鉛（第 2 版）」 2015 年 1 月
- 22 【29】 食品安全委員会：添加物評価書 「硫酸銅 」 2022 年 8 月
- 23 【18（グルコン酸亜鉛（第 2 版）17）】 JECFA (FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives) : SAFETY EVALUATION OF CERTAIN FOOD ADDITIVES, Food Additives Series 42, Prepared by the Fifty-first meeting of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, World Health Organization, Geneva June 1999
<http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v042je12.htm> (アクセス日 2024 年 2 月 1 日)
- 24 【19】 JEFCA (Joint FAO/WFO Expert Committee on Food Additives): Evaluation of certain food additives and contaminants. Twenty-six Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. World Health Organ Tech Rep Ser 682, 1982
https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/41546/WHO_TRS_683.pdf?isAllowed=y&sequence=1 (アクセス日 2024 年 2 月 1 日)
- 25 【22】 FDA (Food and Drug Administration) : Scientific Literature Reviews on Generally Recognized as Safe (GRAS) Food Ingredients - Gluconate Salts, Food and Drug Research Lab, 1974
- 26 【23】 FDA (Food and Drug Administration) : Select Committee on GRAS (SCOGS) Substances Opinion: Copper (cupric) gluconate, Copper (cupric) sulfate, Cuprous iodide, 1974

-
- <http://wayback.archive-it.org/7993/20171031061417/https://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/SCOGS/ucm261260.htm> (アクセス日 2024 年 2 月 5 日)
- ²⁷ 【24】 FDA (Food and Drug Administration) : Select Committee on GRAS Substances (SCOGS) Opinion: Magnesium gluconate; Potassium gluconate; Sodium gluconate; Zinc gluconate, 1978
<http://wayback.archive-it.org/7993/20171031062443/https://www.fda.gov/Food/IngredientsPackagingLabeling/GRAS/SCOGS/ucm260462.htm> (アクセス日 2024 年 2 月 5 日)
- ²⁸ 【26】 FSANZ (Food Standards Australia New Zealand) : The 20th Australian Total Diet Survey, 2003
<https://www.foodstandards.gov.au/sites/default/files/2023-11/20th-ATDS.pdf> (アクセス日 2024 年 2 月 7 日)
- ²⁹ 【30】 食品安全委員会、清涼飲料水評価書「銅」 2008 年 4 月
- ³⁰ 【25】 IOM (Institute of Medicine (US)) : Panel on Micronutrients. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. 7 Copper. Institute of Medicine (US) Panel on Micronutrients. Washington (DC): National Academies Press (US); 2001
- ³¹ 【27】 WHO (World Health Organization) : Copper, In WHO(ed.), Environmental Health Criteria 200. Genova, 1998
<https://incchem.org/documents/ehc/ehc/ehc200.htm> (アクセス日 2024 年 2 月 7 日)
- ³² 【20】 SCF (Scientific Committee on Food) : Opinion of the Scientific Committee on Food on the Tolerable Upper Intake Level of copper, 10 pp, 2003
https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-12/sci-com_scf_out176_en.pdf (アクセス日 2024 年 7 月 17 日)
- ³³ 【21】 EFSA (European Food Safety Authority) : Re-evaluation of the existing health-based guidance values for copper and exposure assessment from all sources. EFSA Journal 2023;21(1):7728
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2023.7728> (アクセス日 2024 年 2 月 1 日)
- ³⁴ 【49 (グルコン酸銅 (第 1 版) 9)】 北條康司, 橋本育子, 宮本洋子, 川添禎浩, 水谷民雄 : 栄養強化剤 Copper(II) Gluconate の投与によりマウス肝臓及び腎臓に誘導された in Vivo での毒性及び Glutathione, Ascorbic Acid, 銅の濃度変化. 薬学雑誌 (2000) 120: 311-314
https://www.jstage.jst.go.jp/article/yakushi1947/120/3/120_3_311/_pdf/-char/ja (アクセス日 2024 年 2 月 13 日)
- ³⁵ 【追 16】 Joe A. Vinson, Thomas A. Tompkins & Gabriel A. Agbor : Comparative Bioavailability of Mineral-enriched Gluconates and Yeast in Rat Liver After Depletion-Repletion Feeding. Biol Trace Elem Res (2007) 118:104-110
- ³⁶ 【追 19】 Boullata J, Muthukumaran G, Piarulli A, Labarre J, Compher C:

- 37 【105 (グルコン酸亜鉛 (第2版) 18)】 LSRO/FASEB Prepared for FDA: Evaluation of the Health Aspects of Sodium, Potassium, Magnesium and Zinc Gluconates as Food Ingredients, 1978
- 38 【追15】 Sawyer DT, Bagger JB: The Lactone-Acid-Salt Equilibria for D-Glucono- δ -lactone and the Hydrolysis Kinetics for this Lactone. Journal of the American chemical society. 1959
- 39 【追18】 OECD (Organisation for Co-operation and Development) : OECD SIDS gluconic acid and its derivatives 2004
- 40 【53】 Subcommittee on Laboratory Animal Nutrition Committee on Animal Nutrition Board on Agriculture National Research Council : Nutrient requirements of Laboratory Animals Fourth Revised Edition. 1995
- 41 【52 (硫酸銅 45)】 Johnson PE and Lee DY: Copper Absorption and Excretion Measured by Two Methods in Rats Fed Varying Concentrations of Dietary Copper. J Trace Elem Exp Med. 1988; 1: 129-41
- 42 【追2 (硫酸銅 46)】 OECD (Organisation for Co-operation and Development): SIDS Initial Assessment Profile-Copper and copper compounds, 2014
- 43 【54 (硫酸銅 47)】 Van den Berg GJ, Beynen AC. : Influence of ascorbic acid supplementation on copper metabolism in rats. Br J Nutr. 1992 Nov;68(3):701-15
- 44 【55 (硫酸銅 48)】 Van den Berg GJ, Yu S, Lemmens AG, Beynen AC. : Ascorbic acid feeding of rats reduces copper absorption, causing impaired copper status and depressed biliary copper excretion. Biol Trace Elem Res. 1994 Apr-May;41(1-2):47-58
- 45 【63 (硫酸銅 58)】 Coudray C, Feillet-Coudray C, Rambeau M, Tressol JC, Gueux E, Mazur A, Rayssiguier Y. : The effect of aging on intestinal absorption and status of calcium, magnesium, zinc, and copper in rats: a stable isotope study. J Trace Elem Med Biol. 2006;20(2):73-81
- 46 【56 (硫酸銅 49)】 van Ravesteyn AH: Metabolism of copper in man. Acta Med Scand, 1944; 118(1-3): 163-96
- 47 【57 (硫酸銅 50)】 Turnlund JR, Keyes WR, Anderson HL, Acord LL. : Copper absorption and retention in young men at three levels of dietary copper by use of the stable isotope ^{65}Cu . Am J Clin Nutr. 1989 May;49(5):870-8
- 48 【58 (硫酸銅 51)】 EFSA : Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (EFSA NDA Panel): Scientific Opinion on Dietary Reference Values for copper. EFSA Journal, 2015; 13(10): 4253
- 49 【59 (硫酸銅 52)】 Turnlund JR, Keyes WR, Peiffer GL, Scott KC. : Copper absorption, excretion, and retention by young men consuming low dietary copper determined by using the stable isotope ^{65}Cu . Am J Clin Nutr. 1998 Jun;67(6):1219-25
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002916523183535/pdf?md5=49bd1829621797b711cbf2eb138e9b5c&pid=1-s2.0-S0002916523183535-main.pdf> (アクセス日 2024 年 2 月 22 日)
- 50 【61 (硫酸銅 54)】 Harvey LJ, Majsak-Newman G, Dainty JR, Lewis DJ,

-
- Langford NJ, Crews HM, Fairweather-Tait SJ. : Adaptive responses in men fed low- and high-copper diets. *Br J Nutr.* 2003 Jul;90(1):161-8
<https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/41AC83055FB3B00077B65B5E7471306A/S0007114503002563a.pdf/adaptive-responses-in-men-fed-low-and-high-copper-diets.pdf> (アクセス日 2024 年 2 月 21 日)
- 51 【62 (硫酸銅 55)】 Turnlund JR, Keyes WR, Kim SK, Domek JM. : Long-term high copper intake: effects on copper absorption, retention, and homeostasis in men. *Am J Clin Nutr.* 2005 Apr;81(4):822-8
[https://ajcn.nutrition.org/article/S0002-9165\(23\)11968-X/pdf](https://ajcn.nutrition.org/article/S0002-9165(23)11968-X/pdf) (アクセス日 2024 年 2 月 22 日)
- 52 【64 (硫酸銅 59)】 Harvey LJ, Dainty JR, Hollands WJ, Bull VJ, Beattie JH, Venelinov TI, Hoogewerff JA, Davies IM, Fairweather-Tait SJ. : Use of mathematical modeling to study copper metabolism in humans. *Am J Clin Nutr.* 2005 Apr;81(4):807-13
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002916523119666/pdf?md5=1a15785e0a59e01be37c63585f66f07f&pid=1-s2.0-S0002916523119666-main.pdf> (アクセス日 2024 年 8 月 8 日)
- 53 【149 (硫酸銅 87)】 Turnlund JR, Keen CL, Smith RG. : Copper status and urinary and salivary copper in young men at three levels of dietary copper. *Am J Clin Nutr.* 1990 Apr;51(4):658-64
- 54 【66】 Olivares M, Lönnerdal B, Abrams SA, Pizarro F, Uauy R. : Age and copper intake do not affect copper absorption, measured with the use of ^{65}Cu as a tracer, in young infants. *Am J Clin Nutr.* 2002 Sep;76(3):641-5
- 55 【追 14】 Turnlund JR, Swanson CA, King JC. : Copper Absorption and Retention in Pregnant Women Fed Diets Based on Animal and Plant Proteins, *Journal of Nutrition.* 1983 113(11):2346-52
- 56 【109 (硫酸銅 60)】 Wijmenga C, Klomp LW. : Molecular regulation of copper excretion in the liver. *Proc Nutr Soc.* 2004 Feb;63(1):31-9
<https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/433B762DE6DBA27A3311470C1D9C6CEA/S0029665104000059a.pdf/molecular-regulation-of-copper-excretion-in-the-liver.pdf> (アクセス日 2024 年 2 月 21 日)
- 57 【110 (硫酸銅 61)】 van den Berghe PV, Klomp LW. : New developments in the regulation of intestinal copper absorption. *Nutr Rev.* 2009 Nov;67(11):658-72
<https://academic.oup.com/nutritionreviews/article-pdf/67/11/658/24093218/nutritionreviews67-0658.pdf> (アクセス日 2024 年 2 月 21 日)
- 58 【111 (硫酸銅 62)】 Linder MC, Hazegh-Azam M. : Copper biochemistry and molecular biology. *Am J Clin Nutr.* 1996 May;63(5):797S-811S
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002916523193038/pdf?md5=7859607f7ec1c4d341032f2872718960&pid=1-s2.0-S0002916523193038-main.pdf> (アクセス日 2024 年 8 月 12 日)
- 59 【65】 Turnlund JR. : Stable isotope studies of the effect of dietary copper on

- copper absorption and excretion. *Adv Exp Med Biol.* 1989;258:21-8
- 60 【112】 Fischer PW, Giroux A, L'Abbé MR. : Effect of zinc supplementation on copper status in adult man. *Am J Clin Nutr.* 1984 Oct;40(4):743-6
- 61 【113】 Lönnerdal B. : Copper nutrition during infancy and childhood. *Am J Clin Nutr.* 1998 May;67(5 Suppl):1046S-1053S
- 62 【114】 Hunt JR, Vanderpool RA. Apparent copper absorption from a vegetarian diet. *Am J Clin Nutr.* 2001 Dec;74(6):803-7
- 63 【115】 Huster D, Purnat TD, Burkhead JL, Ralle M, Fiehn O, Stuckert F, et al.: High copper selectively alters lipid metabolism and cell cycle machinery in the mouse model of Wilson disease. *J Biol Chem.* 2007 Mar 16;282(11):8343-55
- 64 【116】 Calvo J, Jung H, Meloni G. : Copper metallothioneins. *IUBMB Life.* 2017 Apr;69(4):236-24
- 65 【117】 Krężel A, Maret W. : The Functions of Metamorphic Metallothioneins in Zinc and Copper Metabolism. *Int J Mol Sci.* 2017 Jun 9;18(6):1237
- 66 【118】 Krężel A, Maret W. : The Bioinorganic Chemistry of Mammalian Metallothioneins. *Chem Rev.* 2021 Dec 8;121(23):14594-14648
- 67 【50 (硫酸銅 63)】 Bost M, Houdart S, Oberli M, Kalonji E, Huneau JF, Margaritis I. : Dietary copper and human health: Current evidence and unresolved issues. *J Trace Elem Med Biol.* 2016 ; 35: 107-15
- 68 【84 (グルコン酸銅 (第 1 版) 28)】 Pratt WB, Omdahl JL, Sorenson JR. : Lack of effects of copper gluconate supplementation. *Am J Clin Nutr.* 1985 Oct;42(4):681-2
- 69 【152】 Baker A, Harvey L, Majask-Newman G, Fairweather-Tait S, Flynn A, Cashman K. : Effect of dietary copper intakes on biochemical markers of bone metabolism in healthy adult males. *Eur J Clin Nutr.* 1999 May;53(5):408-12
- 70 【81】 Pizarro F, Olivares M, Uauy R, Contreras P, Rebelo A, Gidi V. : Acute gastrointestinal effects of graded levels of copper in drinking water. *Environ Health Perspect.* 1999 Feb;107(2):117-21
- 71 【80】 Turley E, McKeown A, Bonham MP, O'Connor JM, Chopra M, Harvey LJ, Majsak-Newman G, Fairweather-Tait SJ, Bügel S, Sandström B, Rock E, Mazur A, Rayssiguier Y, Strain JJ. : Copper supplementation in humans does not affect the susceptibility of low density lipoprotein to in vitro induced oxidation (FOODCUE project). *Free Radic Biol Med.* 2000 Dec;29(11):1129-34
- 72 【79】 Rock E, Mazur A, O'connor JM, Bonham MP, Rayssiguier Y, Strain JJ. : The effect of copper supplementation on red blood cell oxidizability and plasma antioxidants in middle-aged healthy volunteers. *Free Radic Biol Med.* 2000 Feb 1;28(3):324-9
- 73 【78 (硫酸銅 88)】 O'Connor JM, Bonham MP, Turley E, McKeown A, McKelvey-Martin VJ, Gilmore WS, et al.: Copper supplementation has no effect on markers of DNA damage and liver function in healthy adults (FOODCUE project). *Ann Nutr Metab.* 2003;47(5):201-6
- 74 【83】 Turnlund JR, Jacob RA, Keen CL, Strain JJ, Kelley DS, Domek JM, Keyes WR, Ensunsa JL, Lykkesfeldt J, Coulter J. : Long-term high copper intake: effects on indexes of copper status, antioxidant status, and immune

- function in young men. *Am J Clin Nutr.* 2004 Jun;79(6):1037-44
- 75 **[88]** Olivares M, Pizarro F, Speisky H, Lönnerdal B, Uauy R. : Copper in infant nutrition: safety of World Health Organization provisional guideline value for copper content of drinking water. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 1998 Mar;26(3):251-7
- 76 **[82]** Kessler H, Bayer TA, Bach D, Schneider-Axmann T, Supprian T, Herrmann W, Haber M, Multhaup G, Falkai P, Pajonk FG. : Intake of copper has no effect on cognition in patients with mild Alzheimer's disease: a pilot phase 2 clinical trial. *J Neural Transm (Vienna).* 2008 Aug;115(8):1181-7.
- 77 **[93]** Scheinberg IH, Sternlieb I. : Is non-Indian childhood cirrhosis caused by excess dietary copper? *Lancet.* 1994 Oct 8;344(8928):1002-4
- 78 **[92]** Dassel de Vergara J, Zietz B, Schneider HB, Dunkelberg H. : Determination of the extent of excessive copper concentrations in the tap-water of households with copper pipes and an assessment of possible health hazards for infants. *Eur J Med Res.* 1999 Nov 22;4(11):475-82
- 79 **[94]** Dieter HH, Schimmelpfennig W, Meyer E, Tabert M. : Early childhood cirrhoses (ECC) in Germany between 1982 and 1994 with special consideration of copper etiology. *Eur J Med Res.* 1999 Jun 28;4(6):233-42
- 80 **[91]** Zietz BP, Dieter HH, Lakomek M, Schneider H, Kessler-Gaedtke B, Dunkelberg H. : Epidemiological investigation on chronic copper toxicity to children exposed via the public drinking water supply. *Sci Total Environ.* 2003 Jan 20;302(1-3):127-44
- 81 ~~**[152]** Baker A, Harvey L, Majask-Newman G, Fairweather-Tait S, Flynn A, Cashman K. : Effect of dietary copper intakes on biochemical markers of bone metabolism in healthy adult males. *Eur J Clin Nutr.* 1999 May;53(5):408-12~~
- 82 ~~**[79]** Rock E, Mazur A, O'connor JM, Bonham MP, Rayssiguier Y, Strain JJ. : The effect of copper supplementation on red blood cell oxidizability and plasma antioxidants in middle-aged healthy volunteers. *Free Radic Biol Med.* 2000 Feb 1;28(3):324-9~~
- 83 ~~**[80]** Turley E, McKeown A, Bonham MP, O'Connor JM, Chopra M, Harvey LJ, Majsak-Newman G, Fairweather-Tait SJ, Bügel S, Sandström B, Rock E, Mazur A, Rayssiguier Y, Strain JJ et al. : Copper supplementation in humans does not affect the susceptibility of low density lipoprotein to in vitro induced oxidation (FOODCUE project). *Free Radic Biol Med.* 2000 Dec;29(11):1129-34~~
- 84 ~~**[83]** Turnlund JR, Jacob RA, Keen CL, Strain JJ, Kelley DS, Domek JM, Keyes WR, Ensunsa JL, Lykkesfeldt J, Coulter Jet al. : Long-term high-copper intake: effects on indexes of copper status, antioxidant status, and immune function in young men. *Am J Clin Nutr.* 2004 Jun;79(6):1037-44~~
- 85 ~~**[81]** Pizarro F, Olivares M, Uauy R, Contreras P, Rebelo A, Gidi V. : Acute gastrointestinal effects of graded levels of copper in drinking water. *Environ Health Perspect.* 1999 Feb;107(2):117-21~~
- 86 ~~**[82]** Kessler H, Bayer TA, Bach D, Schneider-Axmann T, Supprian T, Herrmann W, Haber M, Multhaup G, Falkai P, Pajonk FG et al. : Intake of copper has no effect on cognition in patients with mild Alzheimer's disease: a pilot phase 2 clinical trial. *J Neural Transm (Vienna).* 2008 Aug;115(8):1181-~~

- 7.
- ⁸⁷ ~~【88】 Olivares M, Pizarro F, Speisky H, Lönnerdal B, Uauy R. : Copper in infant nutrition: safety of World Health Organization provisional guideline value for copper content of drinking water. J Pediatr Gastroenterol Nutr. 1998 Mar;26(3):251-7~~
- ⁸⁸ ~~【92】 Dassel de Vergara J, Zietz B, Schneider HB, Dunkelberg H. : Determination of the extent of excessive copper concentrations in the tap-water of households with copper pipes and an assessment of possible health-hazards for infants. Eur J Med Res. 1999 Nov 22;4(11):475-82~~
- ⁸⁹ ~~【94】 Dieter HH, Schimmelpfennig W, Meyer E, Tabert M. : Early childhood cirrhoses (ECC) in Germany between 1982 and 1994 with special consideration of copper etiology. Eur J Med Res. 1999 Jun 28;4(6):233-42~~
- ⁹⁰ ~~【91】 Zietz BP, Dieter HH, Lakomek M, Schneider H, Kessler-Gaedtke B, Dunkelberg H. : Epidemiological investigation on chronic copper toxicity to children exposed via the public drinking water supply. Sci Total Environ. 2003 Jan 20;302(1-3):127-44~~
- ⁹¹ 【90】 O'Donohue J, Reid M, Varghese A, Portmann B, Williams R. A case of adult chronic copper self-intoxication resulting in cirrhosis. Eur J Med Res. 1999 Jun 28;4(6):252.
- ⁹² ~~【93】 Scheinberg IH, Sternlieb I. : Is non-Indian childhood cirrhosis caused by excess dietary copper? Lancet. 1994 Oct 8;344(8928):1002-4~~
- ⁹³ 【追 20】 Wang S, Wang N, Pan D, Zhang H, Sun G: Effects of copper supplementation on blood lipid level: a systematic review and a meta-analysis on randomized clinical trials. Biol. Trace Elem. Res, 2021; 199:2851-7
- ⁹⁴ 【141 (グルコン酸銅 (第 1 版) 8)】 藤田 博, 中野雅行, 佐々木美枝子. : Salmonella typhimurium TA97, TA102 を用いた食品添加物の変異原性試験 (第 3 報). 東京衛研年報. (1988) 39: 343-350
- ⁹⁵ 【146 (硫酸銅 64)】 食品安全委員会 : 飼料添加物評価書「2-デアミノ-2-ヒドロキシメチオニン銅」. 2019 年 3 月
- ⁹⁶ 【追 3 (硫酸銅 65)】 Marzin DR and Phi HV: Study of the mutagenicity of metal derivatives with Salmonella typhimurium TA 102. Mutat Res, 1985; 155(1-2): 49-51
- ⁹⁷ 【追 4 (硫酸銅 67)】 Moriya M, Ohta T, Watanabe K, Miyazawa T, Kato K, and Shirasu Y: Further mutagenicity studies on pesticides in bacterial reversion assay systems. Mutation Research/Genetic Toxicology, 1983; 116(3-4): 185-216
- ⁹⁸ 【追 5 (硫酸銅 68)】 Olivier P and Marzin D: Study of the genotoxic potential of 48 inorganic derivatives with the SOS chromotest. Mutation Research, 1987; 189(3): 263-9
- ⁹⁹ 【追 6 (硫酸銅 69)】 Denizeau F and Marion M: Genotoxic effects of heavy metals in rat hepatocytes. Cell Biol Toxicol, 1989; 5(1): 15-25
- ¹⁰⁰ 【追 7 (硫酸銅 70)】 Agarwal K, Sharma A, and Talukder G: Clastogenic effects of copper sulphate on the bone marrow chromosomes of mice in vivo. Mutation Research, 1990; 243(1): 1-6
- ¹⁰¹ 【追 8 (硫酸銅 71)】 Tinwell H and Ashby J: Inactivity of copper sulphate in a

-
- mouse bone-marrow micronucleus assay. *Mutation Research*, 1990; 245(3): 223-6
- 102 【追 9 (硫酸銅 72)】 Bhunya SP and Pati PC: Genotoxicity of an inorganic pesticide, copper sulfate in mouse in vivo test system. *Cytologia*, 1987; 52(4): 801-8
- 103 【追 10 (硫酸銅 73)】 Ornaghi F and Giavini E: Induction of micronuclei in pre-implantation rat embryos in vivo. *Mutation Research*, 1989; 225(1-2): 71-4
- 104 【147 (硫酸銅 75)】 Mandil R, Prakash A, Rahal A, Singh SP, Sharma D, Kumar R, et al. In vitro and in vivo effects of flubendiamide and copper on cyto-genotoxicity, oxidative stress and spleen histology of rats and its modulation by resveratrol, catechin, curcumin and α -tocopherol. *BMC Pharmacol Toxicol*. 2020 Apr 23;21(1):29
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7179012/pdf/40360_2020_Article_405.pdf (アクセス日 2024 年 8 月 29 日)
- 105 【追 11 (硫酸銅 76)】 Berek I and Kiss I: Study of auxotroph mutants induced by copper sulphate in *Bacillus subtilis*. *Acta Microbiol Acad Sci Hung*, 1974; 21(3-4): 297-304
- 106 【148 (硫酸銅 77)】 Grillo CA, Reigosa MA, Fernandez Lorenzo de Mele MA. Does over-exposure to copper ions released from metallic copper induce cytotoxic and genotoxic effects on mammalian cells? *Contraception*. 2010 Apr;81(4):343-9
- 107 【追 12 (グルコン酸亜鉛 (第 2 版) 38)】 Mutagenic Evaluation of Compound. FDA 75-67 Zinc Gluconate. 1977
- 108 【119 (硫酸銅 78)】 Smyth HF Jr, Carpenter CP, Weil CS, Pozzani UC, Striegel JA, and Nycum JS: Range-finding toxicity data: List VII. *Am Ind Hyg Assoc J*, 1969; 30(5): 470-6
- 109 【120 (硫酸銅 79)】 Spector WS: Handbook of Toxicology, Vol. 1, Acute Toxicities of Solids, Liquids and Gases to Laboratory Animals. Philadelphia & London, W. B. Saunders Company, 1956; 76-7
- 110 【126 (グルコン酸銅 (第 1 版) 14)】 Harrisson JWE, Levin SE, Trahin B: The safety and fate of potassium sodium copper chlorophyllin and other copper compounds. *J. Am. Pharm. Assoc*, 1954; XLIII: 722-37
- 111 【99 (グルコン酸銅 (第 1 版) 18)】 ※ Shanaman J, Wazeter F and Goldenthal E: 1972. One-year chronic oral toxicity of copper gluconate, W/02/09A, in beagle dogs. Morris Plains, NJ, Warner-Lambert Research Institute (Research Report No. 955-0353). (※非公開)
- 112 【127 (グルコン酸銅 (第 1 版) 13)】 Kulwich R, Hansard SL, Comar CL, and Davis GK: Copper, molybdenum and zinc interrelationships in rats and swine. *Proc Soc Exp Biol Med*, 1953; 84(2): 487-91
- 113 【128 (グルコン酸銅 (第 1 版) 15)】 Aburto EM, Cribb AE, Fuentealba IC, Ikede BO, Kibenge FS, Markham F: Morphological and biochemical assessment of the liver response to excess dietary copper in Fischer 344 rats. *Can. J Vet. Res.*, 2001; 65: 97-103
- 114 【129 (グルコン酸銅 (第 1 版) 16)】 Fuentealba IC, Mullins JE, Aburto EM, Lau

- JC, Cherian GM: Effect of age and sex on liver damage due to excess dietary copper in Fischer 344 rats. *J Toxicol. Clin. Toxicol*, 2000; 38: 709-17
- 115 【135】 Tachibana K: Pathological transition and functional Vicissitude of liver during formation of cirrhosis by copper. *Nagoya J Med Sci*, 1952; 15(2): 108-12
- 116 【71 (硫酸銅 85)】 Hebert C. : NTP technical report on the toxicity studies of Cupric Sulfate (CAS No. 7758-99-8) Administered in Drinking Water and Feed to F344/N Rats and B6C3F1 Mice. *Toxic Rep Ser*. 1993 Jul;29:1-D3.
https://ntp.niehs.nih.gov/sites/default/files/ntp/htdocs/st_rpts/tox029.pdf (アクセス日 2024 年 2 月 28 日)
- 117 【134 (硫酸銅 86)】 ECHA (European Chemicals Agency): Proposal for harmonised classification and labelling - Substance Name: Copper sulphate pentahydrate. 2013
<https://echa.europa.eu/documents/10162/b7aca287-7c5a-bc40-d726-00f7f888d264> (アクセス日 2024 年 8 月 14 日)
- 118 【130 (グルコン酸銅 (第 1 版) 17)】 Sugawara N, Li D, Sugawara C, Miyake H. Response of hepatic function to hepatic copper deposition in rats fed a diet containing copper. *Biol Trace Elem Res*. 1995 Aug-Sep;49(2-3):161-9
- 119 【136】 Abe M, Usuda K, Hayashi S, Ogawa I, Furukawa S, Igarashi M, Nakae D: Carcinogenic risk of copper gluconate evaluated by a rat medium-term liver carcinogenicity bioassay protocol. *Arch Toxicol*. 2008 Aug;82(8):563-71
- 120 【51】 環境省：化学物質の環境リスク初期評価等（第 13 次とりまとめ）, 2014
<http://www.env.go.jp/chemi/report/h27-01/pdf/chpt1/1-2-2-10.pdf> (アクセス日 2024 年 5 月 13 日)
- 121 【137 (硫酸銅 103)】 SCOGS (Select Committee on Gras Substances) : Evaluation of the Health Aspects of Copper Gluconate, Copper Sulfate, and Cuprous Iodide as Food Ingredients. PB301400. Life Sciences Research Office, Federation of American Societies for Experimental Biology (1979) p.15-16
- 122 【追 17】 厚生労働省：令和 5 年国民健康・栄養調査の結果, 令和 7 年 3 月
- 123 【154 (グルコン酸亜鉛 (第 2 版) 88)】 厚生労働省：平成 17 年度マーケットバスケット方式による栄養強化剤、乳化剤の摂取量調査の結果について, 平成 17 年
- 124 【158a】 Shinozaki N, Murakami K, Masayasu S, Sasaki S. : Usual Nutrient Intake Distribution and Prevalence of Nutrient Intake Inadequacy among Japanese Children and Adults: A Nationwide Study Based on 8-Day Dietary Records. *Nutrients*. 2023 Dec 14;15(24):5113
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10746136/pdf/nutrients-15-05113.pdf> (アクセス日 2024 年 12 月 28 日)
- 125 【158b】 Shinozaki N, Murakami K, Masayasu S, Sasaki S. : Usual Nutrient Intake Distribution and Prevalence of Nutrient Intake Inadequacy among Japanese Children and Adults: A Nationwide Study Based on 8-Day Dietary Records. *Supplementary Materials. Nutrients*. 2023 Dec 14;15(24):5113
<https://www.mdpi.com/article/10.3390/nu15245113/s1> (アクセス日 2024 年 12 月 28 日)

月 28 日)

¹²⁶ 【157】 中村丁次，戸田和正，足立香代子，本田佳子，宮下実，川島由起子：病院食における微量ミネラル含有量の検討，栄養－評価と治療 2001; 18(4):511-5

¹²⁷ 【追 21】 消費者庁：食品健康影響評価に係る補足資料の提出について，消食基 414 号令和 8 年 9 月 17 日付消費者庁食品衛生基準審査課長通知