

亜酸化窒素を添加物として定めることに 係る食品健康影響評価について

1 はじめに

亜酸化窒素は、無色のガスで、20 カ国以上で食品添加物として用いられている。米国では、加圧容器入りの乳等の噴射剤として GRAS (Generally Recognized as Safe) 物質として使用が認められており¹⁵⁾、EU においても、幅広い食品に一般的に使用可能な食品添加物とされている¹⁷⁾。

医療分野では、国内外で古くから吸入麻酔薬として用いられており、わが国では日本薬局方に収載されている⁹⁾。

FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議 (JECFA) では、第 22 回 (1978 年) 会議¹¹⁾ で評価された後、第 29 回 (1985 年)¹²⁾ 及び第 55 回 (2000 年)¹³⁾ で再評価された。第 29 回の JECFA において、噴射剤としての亜酸化窒素の使用は「Acceptable」とされ、ADI は設定されていない。第 55 回の JECFA では packaging gas in modified atmospheric packaging への亜酸化窒素の使用について検討されたが、この用途からの摂取量に関する情報がなく、評価できないと結論されている。

2 背景等

厚生労働省は、平成 14 年 7 月の薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会での了承事項に従い、JECFA で国際的に安全性評価が終了し、一定の範囲内で安全性が確認されており、かつ、米国及び EU 諸国等で使用が広く認められていて国際的に必要性が高いと考えられる食品添加物 46 品目については、企業等からの指定要請を待つことなく、指定に向けた検討を開始する方針を示している。これに該当する亜酸化窒素については、指定の要請もあったことから、食品安全基本法に基づき、厚生労働省から食品安全委員会に食品健康影響評価が依頼されたものである。(平成 15 年 10 月 20 日、関係書類を接受)

3 添加物指定の概要

今般、亜酸化窒素について、乳脂肪及び / 又は植物性脂肪のエアゾール缶入り加工食品に用途を限定し、JECFA や日本薬局方等の規格を参考に規格を定めた上で、新たに添加物として指定しようとするものである。

Acceptable : 現在の特定用途 (及び摂取量以下での) 使用は毒性学的に問題がないと考えられる場合に用いられる。

4 物理化学的性質等

名称： 亜酸化窒素（別名：一酸化二窒素、酸化二窒素）

英名： Nitrous oxide、Dinitrogen monoxide、Hyponitrous acid anhydride

CAS 番号： 010024-97-2

分子式： N_2O

分子量： 44.01

性状等： 室温、大気圧下において無色のガスで、においはない。

温度 0 °C、気圧 101.3 kPa における亜酸化窒素 1000 ml の重量は約 1.96 g。

1 気圧、25 °C における亜酸化窒素の水への溶解性は 1.06 mg/g。

亜酸化窒素は、通常温度では安定であり、またオゾン、水素、ハロゲン類、アルカリ金属類とは反応しない。加熱条件下では、亜酸化窒素は支燃性ガスとなり、他の可燃性ガスと混ぜると可燃性又は爆発性混合物を生成する。

亜酸化窒素は、我が国では、エアゾール缶入り加工食品にのみ使用されることが想定されている食品添加物であり、実際の使用例として、1 缶（ホイップクリーム約 198 g）に 8.5 g 程度の亜酸化窒素が充填されている。

吐出後のクリーム中の N_2O 含量は、実測値から泡中 N_2O 含量 1.7 ~ 4.57 mg/g クリームと溶解 N_2O 含量 1.06 mg/g クリームを合わせた 2.76 ~ 5.63 mg/g クリームと推定されている。

5 安全性に関する検討

1) 経口投与毒性試験

亜酸化窒素は長年麻酔薬として使用されており、その吸入による安全性に関する試験は多数報告されている。しかし、経口投与での安全性に関する試験報告はこれまでなく、今回、5 日間及び 28 日間反復投与毒性試験が実施された。

なお、亜酸化窒素は気体であり、経口投与することは不可能であるため、実際に人が摂取する亜酸化窒素含有ホイップクリーム投与により亜酸化窒素の毒性を評価する方法が選択されている。

5 日間経口投与試験

6 週齢の F344/DuCrj (Fischer) 雄性ラット（各群 4 匹）に亜酸化窒素含有ホイップクリーム 0、5、10 及び 15 g/kg 体重（亜酸化窒素として 0、29.80、59.60 及び 89.40 mg/kg 体重：推定値）を 5 日間連続強制経口投与し、毎日一般状態の観察を行うとともに体重測定、摂餌量測定及び病理学的検査が行われた³⁷⁾。

対照群及び各投与群ともに死亡動物は認められなかった。一般状態では、15 g/kg 体重投与群において、投与直後、口腔内へのクリームの逆流が投与 1 日目で 2 例に、また、投与 1 日目の投与 15 分後に腹部の軽度な膨満が 2 例にみられたが、他に投与によると思われる影響は認められなかった。

各投与群（5、10 及び 15 g/kg 体重）の体重増加率は対照群のそれぞれ 98、88 及び 76% で、摂餌量は対照群のそれぞれ 90、89 及び 82% であった。

肉眼的検査では、いずれの投与群においても被験物質の投与によると思われる毒性学的変化は認められなかったが、5 g/kg 体重投与群の 1 例、10 及び 15 g/kg 体重投与群のそれぞれ 3 例の胃内部にガスが貯留し、15 g/kg 体重投与群では 2 倍以上に膨張していた。また、5 g/kg 体重投与群の 1 例、10 及び 15 g/kg 体重投与群のそれぞれ 3 例の胃内部に白色内容物、さらに、5、10 及び 15 g/kg 体重投与群のそれぞれ 3 例の小腸内部に白色内容物が認められた。

15 g/kg 体重投与群で投与 1 日目にホイップクリームの逆流が観察されたことから 10 g/kg 体重が技術的に投与可能な上限であると考えられ、また、15 g/kg 体重投与群では、体重増加率と摂餌量が対照群よりも低値を示し、胃が 2 倍以上に膨張していたことから、28 日間反復経口投与試験の最高投与量は 10 g/kg 体重が妥当と判断されている。

28 日間反復経口投与試験

6 週齢の F344/DuCrj (Fischer) 雌雄ラット（各群 6 匹）に亜酸化窒素含有ホイップクリームを 0、2.5、5 及び 10 g/kg 体重（亜酸化窒素として 0、16.8、33.6 及び 67.1 mg/kg：推定値）、クリームのみ（亜酸化窒素非含有）又はクリームに空気を加えたもの（亜酸化窒素非含有）を 28 日間反復経口投与し、臨床症状の観察、行動機能検査、体重測定、摂餌量測定、摂水量測定、尿検査、血液学的検査、血液生化学的検査、眼科学的検査及び病理学的検査が行われた³⁸⁾。

誤投与による 1 例を除き、各投与群とも死亡動物は認められなかった。臨床症状及び行動機能検査では、いずれの投与群でも投与によると思われる影響は観察されず、体重増加についても各投与群とも明らかな差は認められなかった。摂餌量及び摂水量は、雌雄ともに亜酸化窒素含有ホイップクリーム 10 g/kg 体重投与群、亜酸化窒素非含有クリーム 10 g/kg 体重投与群及び亜酸化窒素非含有クリーム 10 g/kg 体重 + 空気投与群において投与期間中減少傾向を示し、この減少はクリームの大量投与による影響と考えられている。

尿検査では、雌の亜酸化窒素含有ホイップクリーム 10 g/kg 体重投与群でナトリウム及び塩素の有意な低値が認められたが、亜酸化窒素非含有クリーム 10 g/kg 体重 + 空気投与群でも同様に低値を示しており、これは亜酸化窒素の影響ではないと判断される。また、雄の各投与群で塩素の有意な低値が認められたが、亜酸

化窒素非含有クリーム 10 g/kg 体重、亜酸化窒素非含有クリーム 10 g/kg 体重 + 空気投与群においても同様に低値を示している。

血液学的検査では、雄の 5 g/kg 体重投与群で血小板数が有意な高値を示したが、用量相関が認められず、投与に起因した増加ではないと判断されている。

血液生化学的検査では、雄の亜酸化窒素含有ホイップクリーム 10 g/kg 体重投与群で尿素窒素が低値を示したが、亜酸化窒素非含有クリーム 10 g/kg 体重 + 空気投与群でも同様の低値が認められており、また、雄の亜酸化窒素含有ホイップクリーム 5 及び 10 g/kg 体重投与群でナトリウムの低値が認められたが、亜酸化窒素非含有クリーム 10 g/kg 体重投与群及び亜酸化窒素非含有クリーム 10 g/kg 体重 + 空気投与群でも同様に低値が認められており、さらに、雄の亜酸化窒素含有ホイップクリーム 5 及び 10 g/kg 体重投与群で塩素が低値を示したが、亜酸化窒素非含有クリーム 10 g/kg 体重 + 空気投与群でも認められており、これらはクリームによる影響と推察されている。

病理組織学的検査で無処置対照群を含む各群に散発的に病変が観察されたが、投与に関連したものは認められていない。

以上から、いくつかの所見は認められているが、亜酸化窒素によると考えられる影響は認められないとされ、本試験における亜酸化窒素の無毒性量 (NOAEL) は 10 g/kg 体重/日 (亜酸化窒素として 67.1 mg/kg 体重/日) と結論されている。

2) 経口投与以外の曝露による毒性試験

静脈内投与による急性毒性試験

ブタに亜酸化窒素を 0.1 ml/kg 体重/min で大腿静脈から 30 分間投与したところ、死亡例はなく、血液 pH、血中二酸化炭素分圧、心拍数、平均動脈圧及び終末呼気二酸化炭素濃度に有意な変化はみられなかった³⁹⁾。

14 日間吸入投与毒性試験

ラット (各群 12 匹) に、空気 (対照群) 25% 亜酸化窒素、21% 酸素及び 54% 窒素の混合気体、又は 60% 亜酸化窒素、21% 酸素及び 19% 窒素の混合気体を曝露した結果、60% 亜酸化窒素投与群において白血球数が有意に減少し、2 匹は白血球減少症を呈し、1 匹は白血球の著減を示して死亡し、60% 亜酸化窒素群の実験は中止された⁴⁰⁾。

繁殖試験

マウスを用いて、亜酸化窒素 (0.5、5.0、50%) を雌に妊娠 6 ~ 15 日の間曝露する実験、及び雄に交配前 9 週間曝露する実験では、いずれの実験においても亜酸化窒素の影響はみられなかった⁴³⁾。

LEW/f Mai 雄性ラットを 20% 亜酸化窒素、20% 酸素及び 60% 窒素の混合気体に

最長 35 日間曝露したところ、精細管の精子形成細胞の障害、精子数の減少がみられた^{44), 45)}。

催奇形性試験

妊娠中のラットを 50% 亜酸化窒素に 2 ~ 6 日間曝露したところ、胎児死亡、内臓・骨格の異常がみられた。また、ラットに妊娠 5 ~ 11 日目のいずれか 1 日に 70% 亜酸化窒素を 24 時間曝露したところ、妊娠 9 日目の投与で、生存児 108 例中 54 例に何らかの異常があった。低酸素状態は本実験系では影響を与えていない⁴⁶⁾。

発がん性試験

3 週齢 Swiss-Webster マウスに、10 又は 40% 亜酸化窒素の 1 日 4 時間週 5 日間の曝露を 78 週間行ったところ、40% 投与群で 5% 程度の体重増加抑制がみられたが、それ以外に投与の影響は認められず、総腫瘍数及び腫瘍別の発生数でも全ての群間で有意な差はみられていない⁴⁷⁾。

ラットを用いた発がん性試験データは見当たらない。

変異原性試験

細菌を用いた復帰突然変異試験 (TA98 及び TA100)⁴⁸⁾、チャイニーズハムスター卵巣細胞 (CHO 細胞) を用いた姉妹染色分体交換試験⁴⁹⁾及びチャイニーズハムスターの V79 系肺線維芽細胞を用いた 8-アザグアニン耐性突然変異コロニー数の計測⁵⁰⁾において、いずれも変異原性は認められていない。

一般薬理

亜酸化窒素の心血管系への作用は軽微で、中枢神経系への副作用はなく、80% 亜酸化窒素吸入によっても骨格筋は弛緩しない。術後 15% の患者に悪心あるいは嘔吐が起こる。また、亜酸化窒素は、ビタミン B₁₂ の不活性化により造血機能障害や神経障害を起こすことが知られている¹⁰⁾。

Sprague-Dawley 及び Long-Evans ラットに通常の大気又は混合気体 (70% 亜酸化窒素、20% 酸素及び 10% 窒素) を投与し、白血球数、骨髄と胸腺の RNA 及び DNA 含量を検討したところ、混合気体投与群の DNA 含量は両系統ともに著しく減少したが、Long-Evans ラットでより顕著で、Long-Evans ラットでは胸腺で RNA 含量が著しく上昇した。DNA 含量の減少から新細胞形成速度の低下が示唆された⁵¹⁾。

80% 亜酸化窒素と 20% 酸素混合気体をラットに 2、4 及び 6 日間投与した実験では、5 日目に生存していた動物の半数が 6 日目に死亡し、また、投与群では“酩酊状態” (intoxicated) を呈し、対照群 (空気投与) に比べて睡眠時間が長く、摂餌量及び摂水量も少なく、出血を伴わない下痢症状が投与 5 日以降に全ての動物で観察された。白血球数は、投与 4 及び 6 日後に有意に低下し、多

形核球の減少が大きく、6日目にはリンパ球のみとなった。大腿骨骨髓の病理組織学的検査において、進行性の形成不全が観察され、空胞の増加と形成不全に伴う髄質の赤血球の増加、有糸分裂像の消失が観察された。さらに重度に変性した髄質では、出血及び広範なフィブリン塊が観察された。また、投与期間が長くなるのに伴って、巨核球が見かけ上増加した⁵²⁾。

80%亜酸化窒素、20%酸素の混合気体への6日間曝露により、ラットの白血球数は急激に減少し、亜酸化窒素曝露下の動物における急性骨髓形成不全は細胞有糸分裂や再生の停止を導いた。また、骨髓性白血病患者2例に亜酸化窒素を投与したところ、白血球数が減少したとの報告がある⁵³⁾。

ハロタンまたはメトキシフルランとの併用で、亜酸化窒素による血圧や心拍数の低下等が報告されている⁵⁴⁾。

10名の健常被験者に40%亜酸化窒素、60%酸素混合気体を45分間吸入させたところ、ほとんどの被験者は、亜酸化窒素曝露中に特有の感覚の繰り返しを経験し、全ての人に聴覚過敏と痛覚消失があったが、不安や興奮はみられなかった⁵⁵⁾。

吸入曝露における毒性試験結果に基づく経口投与時の安全性に関する考察

吸入における曝露量の報告⁵⁷⁾によると、ヒトで麻酔効果が得られる吸入量では、亜酸化窒素投与量は585.5 mg/kg体重と算出された。この値から上記のラット及びヒトの吸入(曝露)試験における吸入量を換算すると、上記1)経口投与毒性試験の最高用量(67.1 mg/kg)の2.5倍~8.7倍の167.3~585.5 mg/kgとなることから、吸入試験では経口試験に比べて曝露量が非常に高いと考えられる。

したがって、ヒトが亜酸化窒素添加のホイップクリームを食品として摂取する場合においては、吸入曝露で認められるような白血球数、生殖器及び胎児への影響は極めて小さいと考えられるとされている。

3) 体内動態

吸収

健常人に亜酸化窒素80%と酸素20%の混合気体をスピロメーターに連結して投与(スピロメーター内の酸素により実際は亜酸化窒素70%と酸素30%の混合気体の投与)したところ、亜酸化窒素吸収は、開始直後には大量で、個体の飽和量の50%は開始後5分以内に吸収されるが、時間の経過とともに急に減少した。また、吸収量には個体差があった⁵⁷⁾。

手術患者において、局所麻酔後に気管内挿管し、亜酸化窒素を投与し、吸気量と呼気量から亜酸化窒素吸収量を算出したところ、開始数分間は吸収は特に多く(個体差も大きい)、開始から早くて5分、遅くても20分までの間に吸収は低下

した⁵⁸⁾。

分布

ヒト及びイヌについて、*in vitro*、37℃、1気圧における亜酸化窒素の血中及び脳ホモジネートへの平衡濃度から求めた脳 - 血中分配係数は、それぞれ 1.06 及び 1.03 であった。40%亜酸化窒素、60%酸素混合気体のイヌへの 2 時間吸入実験では、脳と中心静脈血中の亜酸化窒素分配は約 10 分でほぼ平衡に達した⁵⁹⁾。

妊娠ヒツジ及びヤギへの亜酸化窒素投与では、臍帯静脈と子宮静脈中の亜酸化窒素濃度はほぼ等しく、投与後 25 分には平衡に達した。母動物と臍帯動脈の亜酸化窒素濃度の平衡は大きく遅延した⁶⁰⁾。

代謝

ヒト及びラットの腸内容物並びにラット腸管壁による ¹⁵N 標識亜酸化窒素(0、5、10 及び 20%酸素条件)の代謝を *in vitro* で検討した結果、腸内容物により亜酸化窒素は窒素に還元され、この活性は、酸素濃度を上げると抑制され、抗生物質等により阻害され、腸管壁による代謝はわずかであることから、腸内微生物叢によるとされている⁶¹⁾。

排泄

亜酸化窒素を 60 分間吸入し、45 分間洗浄した組織では、排泄が始まるとすぐに肺と血液の分圧は非常に低い(非麻酔の)レベルに下がった。脳への血流量は多いため、麻酔ガスの脳における分圧は急激に下がるが、筋肉のような低血流の組織ではかなり長く残り、血流が非常に少ない脂肪ではさらに長時間残るとされている¹⁰⁾。

4) ヒトにおける使用経験等

臨床における使用経験

我が国において、亜酸化窒素は、古くから、単独では歯科治療及び分娩第 1 期の鎮痛目的で吸入麻酔薬として使用されており、その副作用として、造血機能障害(顆粒球や血小板の減少等)や嘔気・嘔吐及び末梢神経障害が挙げられているが、その頻度は不明である⁴¹⁾。

デンマークにおいて 30 ~ 35%の亜酸化窒素を歯科領域において鎮痛薬として吸収した約 300 万例について調査が実施され、特筆すべき副作用はみられなかったと報告されている⁴²⁾。

乱用に関する報告

亜酸化窒素の乱用に関し、死亡例も海外で報告されているが、乱用による死亡は窒息によるものが多く、それらの事例は亜酸化窒素ガスボンベ及びホイップク

リーム用チャージャーを用いたものであり、市販ホイップクリーム缶による乱用の事例の報告は見当たらないとのことである⁵⁶⁾。

5) 国際機関等における評価

JECFA における評価¹²⁾

第 29 回の JECFA においては、亜酸化窒素の毒性影響について広範囲にわたり研究されているが、影響が認められる用量（濃度）は、エアゾール噴射剤により食品に分散する量（濃度）よりはるかに大きいとされ、亜酸化窒素の噴射剤としての食品への使用は「acceptable」と評価されている。

米国 FDA における評価⁶²⁾

米国 FDA は、1982 年の Federal Register において以下のように評価している。

亜酸化窒素は比較的安定な気体であり、哺乳動物において代謝されることを示す証拠はほとんどない。亜酸化窒素に曝露された食物を摂餌させる試験がなく、吸入投与によって実施されたものだけである。これらの曝露はヒトの食品を介する摂取とは程遠く、食品に添加した亜酸化窒素曝露に外挿することは困難である。吸入による亜酸化窒素の毒性所見はあるが、その用量は曝露された食品由来の推定摂取量と比べるとはるかに大きい。

ほとんどの気体は食品として噴射調理される間、又は噴射後、おそらく拡散する。歯科医や口腔外科医を対象とした疫学調査では、週 3 時間以上麻酔時に曝露された場合、有害作用を示したが、特異な作用は亜酸化窒素の使用に起因したものではなかった。

亜酸化窒素が現在使用されている含量又は将来予測される含量で、加圧容器中の乳等の噴射剤として使用される場合、消費者への危険を疑わせる合理的な根拠を示唆する入手可能な情報はない。

米国 FDA は亜酸化窒素に関する全ての入手可能な情報を評価し、現行の GRAS 指定に変更がないと評価している。

6) 一日摂取量の推計等

米国における亜酸化窒素含有ホイップクリーム（ホイップクリーム缶）の年間総生産量は 2003 年に 43,389 t であり^{a)}、米国における一人当たりのホイップクリーム缶中クリームの一 日摂取量は 6.8 mg/kg 体重/日と算出される。亜酸化窒素のホイップクリーム中含量は 2.76 ~ 5.63 mg/g とされている^{25), 30), b)} ことから、米国における亜酸化窒素の一 日摂取量は 0.02 ~ 0.04 mg/kg 体重/日と推定されている。

また、正確には指定後の追跡調査による確認が必要と考えるが、米国及び我が国におけるクリーム生産量（2003 年）に基づく摂取量の差を考慮すると、

我が国における亜酸化窒素含有ホイップクリームの摂取量は、米国の約 30%に相当すると推定される^{a),c)} ことから、我が国におけるホイップクリーム由来の亜酸化窒素の一日摂取量は、0.006 ~ 0.01 mg/kg 体重/日と想定される。

ただし、缶から吐出したクリーム中に含まれている亜酸化窒素は、時間と共に徐々に大気中に拡散していくため、実際の摂取量はより少なくなると考えられる。

【引用文献】

- 9) 第十四改正日本薬局方 財団法人日本公定書協会編 2001年 p.209-210.
- 10) グッドマン・ギルマン薬理書 薬物治療の基礎と臨床 第9版
- 11) WHO 1978. Evaluation of certain food additives and contaminants; WHO Technical Report Series 631 Twenty-second Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.
- 12) WHO 1986. Evaluation of certain food additives and contaminants; WHO Technical Report Series 733 Twenty-ninth Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.
- 13) Joint FAO/WHO expert committee on food additives 2000, 55th meeting, Summary and conclusions.
- 15) 21 CFR Ch. I (4-1-2001 Edition) Food and Drug Administration, §184.1545, §173.345, §173.360.
- 17) Official Journal of the European Communities 1995 L61 Volume 38.
- 25) GAS DATA BOOK 6th Edition, Matheson Gas Products (1980) 550-555.
- 30) キョーワ工業株式会社 社内報告書 ホイップクリームを射出した際に空气中に拡散する亜酸化窒素量及び射出されたホイップクリーム中に含有される亜酸化窒素量の実測 2003年7月
- 37) 株式会社大雄会医科学研究所 亜酸化窒素のラットを用いた5日間反復投与毒性試験(試験番号0029) 最終報告書 2000年9月
- 38) 株式会社大雄会医科学研究所 亜酸化窒素のラットを用いた28日間反復投与毒性試験(試験番号0109) 最終報告書 2001年8月
- 39) Roberts MW, Mathiesen KA, Ho HS, Wolfe BM. Cardiopulmonary responses to intravenous infusion of soluble and relatively insoluble gases. *Surg. Endosc.* (1997) 11: 341-346.
- 40) Parbrook GD. Leucopenic effects of prolonged nitrous oxide treatment. *Brit. J. Anaesth.* (1967) 39: 119-127.
- 41) 住友精化株式会社 全身麻酔剤・笑気ガス 添付文書
- 42) Ruben H. Nitrous oxide analgesia in dentistry: its use during 15 years in Denmark. *Br. Dent. J.* (1972) 132: 195-196.

- 43) Mazze RI, Wilson AI, Rice SA, Baden JM. Reproduction and fetal development in mice chronically exposed to nitrous oxide. *Teratology* (1982) 26: 11-16.
- 44) Kripke BJ, Kelman AD, Shah NK, Balogh K, Handler AH. Testicular reaction to prolonged exposure to nitrous oxide. *Anesthesiology* (1976) 44: 104-113.
- 45) Kripke BJ, Sherwin RP. Nitrogen dioxide exposure - Influence on rat testes. *Anesth. Analg.* (1984) 63: 526-528.
- 46) Shepard TH, Fink BR. Teratogenic activity of nitrous oxide in rats. *Toxicity Anesth. Proc. Res. Symp.* (1967) 308-323.
- 47) Baden JM, Kundomal YR, Luttrupp ME Jr, Mazze RI, Kosek JC. Carcinogen bioassay of nitrous oxide in mice. *Anesthesiology* (1986) 64: 747-750.
- 48) Baden JM, Monk SJ. Mutagenicity and toxicity studies with high pressure nitrous oxide. *Toxicol. Lett.* (1981) 7: 259-262.
- 49) White AE, Takehisa S, Eger EI 2nd, Wolff S, Stevens WC. Sister chromatid exchanges induced by inhaled anesthetics. *Anesthesiology* (1979) 50: 426-430.
- 50) Sturrock J. Lack of mutagenic effect of halothane or chloroform on cultured cells using the azaguanine test system. *Br. J. Anaesth.* (1977) 49: 207-210.
- 51) Green CD. The effect of N₂O on ribonucleic and deoxyribonucleic acid content of rat bone marrow and thymus. *Toxicity Anesth., Proc. Res. Symp.* (1968) 1967: 114-122.
- 52) Green CD, Eastwood DW. Effect of nitrous oxide inhalation on hemopoiesis in rats. *Anesthesiology* (1963) 24: 341-345.
- 53) Eastwood DW, Green CD, Lambdin MA, Gardner R. Effect of nitrous oxide on the white-cell count in leukemia. *New Engl. J. Med.* (1963) 268: 297-299.
- 54) Bloch M. Some systemic effects of nitrous oxide. *Brit. J. Anaesthesia* (1963) 35: 631-639.
- 55) Eisele JH, Smith NT. Cardiovascular effects of 40 percent nitrous oxide in man. *Anesth. Analg.* (1972) 51: 956-963.
- 56) Wagner SA, Clark MA, Wesche DL, Doedens DJ, Lloyd AW. Asphyxial deaths from the recreational use of nitrous oxide. *J. Forensic. Sci.* (1992) 37: 1008-1015.
- 57) 上久保康夫. 亜酸化窒素による吸入麻酔についての基礎的研究 . *麻酔* (1958) 7: 273-277.
- 58) 上塚昭逸 . 笑気の吸収と低流量による笑気麻酔についての研究 . *熊本医学会雑誌* (1959) 33: 1522-1528.
- 59) Kety SS, Harmel MH, Broomell HT, Rhode CB. The solubility of nitrous oxide in blood and brain. *J. Biol. Chem.* (1948) 173: 487-496.
- 60) Blechner JN, Makowski EL, Cotter JR, Meschia G, Barron DH. Nitrous oxide transfer from mother to fetus in sheep and goats. *Am. J. Obstet. Gynecol.* (1969) 105: 368-373.
- 61) Hong K, Trudell JR, O'Neil JR, Cohen EN. Metabolism of nitrous oxide by human

and rat intestinal contents. *Anesthesiology* (1980) 52: 16-19.

62) Federal Register / Vol.47, No.191 / Friday, October 1, 1982 / Proposed Rules

- a) 三栄源エフ・エフ・アイ株式会社 米国におけるホイップクリーム缶およびクリーム摂取量の推定（社内資料）
- b) キョーワ工業株式会社 社内報告書 ホイップクリーム使用時に放出される亜酸化窒素について（2004年5月12日）
- c) 三栄源エフ・エフ・アイ株式会社 日本におけるクリーム摂取量の推定（社内資料）

亜酸化窒素 (N₂O) の安全性に関する試験結果 その1

試験種類	投与期間	供試動物	投与方法	1群当たり動物数	投与濃度 換算 N ₂ O 摂取量 (mg/kg 体重) ^{*2}	試験結果	文献 No.
急性毒性	5日間	ラット	経口 ^{*1}	4	0、5、10、15 g/kg (ホイップクリーム重量) 0、29.8、59.6、89.4	15 g/kg 投与群で、投与4日目に対照に比べ、体重・摂取量が低値。 5、10、15 g/kg 投与群においてそれぞれ1、3、3例にガス貯留による胃の膨張がみられた。一般状態、病理学的検査では影響なし。	37
	30分間	ブタ	静脈内投与	6	0.1 ml/kg/min	死亡例はなく、血液 pH、血中 CO ₂ 分圧、心拍数、平均動脈圧、終末呼気 CO ₂ 濃度にも影響なし。	39
反復 (投与 亜と 急性 毒性)	28日間	ラット	経口 ^{*1}	6	0、2.5、5、10 g/kg (ホイップクリーム重量) 0、16.8、22.6、67.1	摂取量、摂水量、尿検査及び血液生化学的検査において変化がみられたが、クリームの影響と判断され、N ₂ O に起因しないと結論した。その他の所見で N ₂ O の影響なし。 NOAEL : 67.1 mg/kg 体重	38
	14日間	ラット 性不分別	吸入	12	25%、60% N ₂ O (1、2週間) 60%: 502.0	N ₂ O 曝露により、用量に相関して白血球数が有意に減少。	40
繁殖試験	雌：妊娠 6-15日目 雄：交配9週間	マウス	吸入	生存児： 761	0.5、5.0、50% N ₂ O、4時間/日	雄の受精能、同腹児数、胎児重量に影響なし。	43
	最長35日間	ラット 雄性	吸入	4-5	20%N ₂ O、 20%O ₂ 、60%N ₂ 167.3	精細管の精子形成細胞障害による精細胞の減少。	44
催奇 形性	妊娠中 2-6日間	ラット 雌性	吸入	生存児： 105	50%N ₂ O 2 L/min 418.3	妊娠中のラットへの N ₂ O 曝露により、胎仔死亡、内臓・骨格の異常。	46
	妊娠5-11日 目のうち1日			生存児： 108 (妊娠9日目投与)	70%N ₂ O、30%O ₂ 24時間 585.5	妊娠9日目の投与で、生存児108例中54例に何らかの異常があり、この54例中51例は椎骨中心の完全分離であった。	
発がん性	78週間	マウス	吸入	75-91	10、40%N ₂ O 4時間/日、5日/週	40%N ₂ O 投与群で、5%程度の体重増加抑制がみられた他は、体重、平均器官重量、生存率、肉眼的及び病理学的検索において、投与の影響はみられなかった。	47
変異原性	インキュベーション 40時間	カビ細菌 TA98、 TA100	インキュベーション		N ₂ O 分圧 ; 0.5-6 気圧	4、6 気圧において生存率の低下を示したが、復帰突然変異体の増加はいずれの分圧においてもみられず、変異原性は示さなかった。	48
	インキュベーション 1、24時間	チャイニーズハムスター卵巣細胞	インキュベーション		75%N ₂ O	IMAC (最小肺胞内濃度) 用量である 75%N ₂ O で、姉妹染色分体交換 (SCE) の有意な誘発はみられなかった。	49
	インキュベーション 24時間	チャイニーズハムスター培養線維芽細胞	インキュベーション		75%N ₂ O	変異原性は示さなかった。	50

試験種類	投与期間	供試動物	投与方法	1群当た動物数	投与濃度 換算 N ₂ O 摂取量 (mg/kg 体重) ^{*2}	試験結果	文献 No.
調疫 査学	不明	ヒト	吸入	約 300 万 例	鎮痛薬として 30-35%N ₂ O	15 年間にわたる調査において、吸入 による合併症の発症なし。	42
一 般 薬 理	8 日間	ラット (S.D、 Long- Evans)	吸入	SD : 対 照 17、投与 13 Long -Evans : 対 照 14、投与 18	70%N ₂ O (8 日間) 585.5	Long-Evans 系のみで著しい白血球の 減少とリンパ球の割合のわずかな増 加、SD 系では RNA、DNA 量とも 変化はわずか、Long-Evans 系では RNA 量の上昇がみられ、RNA/DNA 比が著しく変化。	51
	2、4、6 日 間	ラット	吸入	対照 : 33 投与 : 24	80%N ₂ O、20%O ₂ 585.5	総白血球数が投与 2 日目から減少 し、投与 6 日目には、投与群では多 形核球が全くみられなかった。 大腿骨骨髓標本では、投与群で進行 性の形成不全がみられた。	52
	6 日間	ラット	吸入	対照 : 32 投与 : 25	80%N ₂ O、20%O ₂	白血球数が急激に減少。 急性骨髓形成不全を示し、細胞有糸 分裂や再生が停止した。	53
	不明	白血病患者	吸入	2 例	N ₂ O 治療	白血球数減少。	
	不明	健常成人	吸入	25-30 例	72%N ₂ O : 5 L/min、 28%O ₂ : 2 L/min	低濃度のハロタン、メトキシフルラ ンと併用投与したとき、徐脈、血圧 低下、筋の緊張の低下がみられた。	54
	21-28 日間	健常成人	吸入	10 例 6 例	40%N ₂ O (また は 40%N ₂)、 60%O ₂ 、30 ~ 45 分間/日 334.6	心拍数低下、BCG (心機能評価) 低 下、尿中カテコールアミンが有意で はないが上昇。 心拍数低下、BCG 低下、総末梢抵抗 増加、前腕血量低下、中心静脈圧の 上昇、血漿ノルエピネフリンが有意 ではないが上昇。	55

*1 N₂O 含有ホイップクリームの強制経口投与

*2 吸入による試験に関しては、N₂O 濃度 70-80%については、ヒトの算出値 ; 585.5 mg/kg 体重をそのまま引
用し、それ未満については、比例計算

亜酸化窒素 (N₂O) の安全性に関する試験結果 その2

試験種類	投与期間	供試動物	投与方法	1群当たり動物数	投与濃度 換算 N ₂ O 摂取量 (mg/kg 体重) ^{*2}	試験結果	文献 No.
吸 収	20-45 分間	ヒト (健康人)	吸入	5 例	80%N ₂ O、20%O ₂ 585.5	吸入直後は大量に吸収され、個体飽和量の 50%は吸入開始後 5 分以内に吸収。吸収量に個体差が大きい。	57
	15-240 分間	ヒト (手術患者)	吸入	14 例	75%N ₂ O	吸入開始直後から急速に吸収され、吸収量は開始 10 分で激減し、開始 40 分頃には毎分 100 ml 程度となった。	58
分 布	2 時間	イヌ、 ヒト (in vitro)	吸入	7	40%N ₂ O、60%O ₂	イヌにおいて、脳と中心静脈血中の N ₂ O 分圧は 10 分の吸入で平衡に達した。	59
	20-30 分間	妊娠ヒツジ、妊娠ヤギ	吸入 (カテテルを気管内に挿入)	ヒツジ : 5、ヤギ : 2	40、50%N ₂ O	速やかに母動物から胎児に移行して、子宮と臍帯静脈中の N ₂ O 濃度は同程度になり、5-20 分程度で平衡に達した。	60
代 謝	16 時間	ヒト及びラット腸内容物、ラット腸管壁 (in vitro)	曝露		[¹⁵ N]N ₂ O、 0、5、10、20% O ₂	ヒト及びラットにおいて、腸内微生物叢により N ₂ O は N ₂ に還元された。この還元活性は、O ₂ 濃度を下げると低下し、抗生物質及び煮沸加熱によって阻害された。	61