

2,4-ペンタンジオンのマウスを用いた
吸入によるがん原性試験報告書

試験番号：0676

CAS No. 123-54-6

2010年3月26日

中央労働災害防止協会
日本バイオアッセイ研究センター

標題

2,4-ペンタンジオンのマウスを用いた吸入によるがん原性試験

試験目的

2,4-ペンタンジオンをマウスに 104 週間全身暴露し、がん原性を検索した。

試験法

本試験は、平成 9 年 3 月 11 日付け、基発第 144 号「がん原性試験による調査の基準」及び OECD 化学品テストガイドライン 451（発癌性試験 1981 年 5 月 12 日採択）に準じて実施した。

GLP 対応

本試験は、昭和 63 年 9 月 1 日付け、労働省告示第 76 号「試験施設等が具備すべき基準（安衛法 GLP）」（一部改正。平成 12 年 3 月 29 日付け、労働省告示第 13 号）に準拠し、OECD GLP（1997 年 11 月 26 日採択）に準じて実施した。

試験委託者

厚生労働省労働基準局安全衛生部化学物質対策課
東京都千代田区霞ヶ関 1-2-2

試験施設及び運営管理者

中央労働災害防止協会 日本バイオアッセイ研究センター
副所長 長野 嘉介
神奈川県秦野市平沢 2445

2,4-ペンタンジオンのマウスを用いた
吸入によるがん原性試験報告書

試験番号：0676

本文

要約

2,4-ペンタンジオンのがん原性を検索する目的で B6D2F1/Crlj マウスを用いた吸入による 2 年間 (104 週間) の試験を実施した。

本試験は、被験物質投与群 3 群と対照群 1 群の計 4 群の構成で、各群雌雄とも 50 匹とし、合計 400 匹を用いた。被験物質の投与は、2,4-ペンタンジオンを 1 日 6 時間、1 週 5 日間、104 週間、動物に全身暴露することにより行った。投与濃度は、雌雄とも 0 (対照群)、100、200 及び 400 ppm とした。観察、検査として、一般状態の観察、体重及び摂餌量の測定、血液学的検査、血液生化学的検査、尿検査、剖検、臓器重量測定及び病理組織学的検査を行った。

2,4-ペンタンジオンの暴露の結果、動物の生存率及び一般状態に 2,4-ペンタンジオンの影響はみられなかった。体重は、雄の 400 ppm 群は投与期間の中盤まで増加の抑制がみられたが、それ以降は回復し、対照群と同様な体重推移を示した。雌では 2,4-ペンタンジオンの影響と思われる変化はみられなかった。400 ppm 群の最終体重は、対照群に対して雄は 97%、雌は 101%であった。摂餌量は、雄の 400 ppm 群が投与期間の 30 週以降、低値で推移した。

病理組織学的検査の結果、雌雄とも 2,4-ペンタンジオンに関連した腫瘍の発生増加は認められなかった。非腫瘍性病変としては、雌雄とも鼻腔に 2,4-ペンタンジオンの影響がみられた。鼻腔には雌雄とも滲出液の貯留がみられ、呼吸上皮、嗅上皮及び粘膜下の腺に病変の増加がみられた。呼吸上皮には、扁平上皮化生 (雌雄)、エオジン好性変化 (雄) の増加がみられ、重度の潰瘍 (雌雄)、壊死 (雌) 及び移行上皮過形成 (雄) もみられた。嗅上皮には萎縮 (雌雄)、呼吸上皮化生 (雌雄)、エオジン好性変化 (雌) の増加がみられ、壊死 (雌) もみられた。粘膜下の腺には呼吸上皮化生 (雌雄) の増加がみられた。雌雄の鼻腔の滲出液の貯留と嗅上皮の萎縮はともに最低濃度群の 100 ppm 群までみられた。

また、本試験における 2,4-ペンタンジオンのマウスに対する 2 年間吸入暴露による最小毒性量 (LOAEL) は、鼻腔への影響をエンドポイントとして 100 ppm であると考えられた。

以上のように、B6D2F1/Crlj マウスを用いて、2,4-ペンタンジオンの 2 年間 (104 週間) にわたる吸入によるがん原性試験を行った結果、以下の結論を得た。

雌雄とも腫瘍の発生増加は認められず、2,4-ペンタンジオンのマウスに対するがん原性はなかった。

2,4-ペンタンジオンのがん原性試験における主な腫瘍発生 (マウス 雄)

	投与濃度 (ppm)		0	100	200	400	Peto 検定	Cochran- Armitage 検定
	検査動物数		50	50	49	50		
良性 腫瘍	肺	細気管支-肺胞上皮腺腫	4	4	3	5		
	肝臓	肝細胞腺腫	6	8	18 *	10		
	ハーダー腺	腺腫	2	4	4	4		
悪性 腫瘍	肺	細気管支-肺胞上皮癌	2	3	2	3		
	リンパ節	悪性リンパ腫	9	6	6	13		
	肝臓	肝細胞癌	5	8	4	2		
	全臓器	血管肉腫	6	3	3	3		
		組織球性肉腫	3	2	2	4	↑ ↑ a	

2,4-ペンタンジオンのがん原性試験における主な腫瘍発生 (マウス 雌)

	投与濃度 (ppm)		0	100	200	400	Peto 検定	Cochran- Armitage 検定
	検査動物数		50	49	50	50		
良性 腫瘍	肝臓	肝細胞腺腫	1	5	3	3		
	下垂体	腺腫	10	11 ^b	13	12		
	卵巣	腺腫	1	0	0	3		
	ハーダー腺	腺腫	1	0	3	2		
悪性 腫瘍	リンパ節	悪性リンパ腫	15	14	15	13		
	子宮	組織球性肉腫	9	7	14	8		

a : Peto 検定の有病率法でのみで有意

b : 検査動物数 48、他は上段に表示の検査数と同じ

* : $p \leq 0.05$ で有意** : $p \leq 0.01$ で有意

(Fisher 検定)

↑ : $p \leq 0.05$ で有意増加↑↑ : $p \leq 0.01$ で有意増加

(Peto, Cochran-Armitage 検定)

↓ : $p \leq 0.05$ で有意減少↓↓ : $p \leq 0.01$ で有意減少

(Cochran-Armitage 検定)

I 試験材料

I-1 被験物質の性状等

I-1-1 名称等

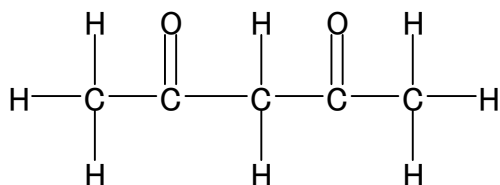
名 称： 2,4-ペンタンジオン (2,4-Pentanedione)

別 名： アセチルアセトン

CAS No. : 123-54-6

I-1-2 構造式及び分子量 (文献 1)

構造式：



分子量： 100.12

I-1-3 物理化学的性状等 (文献 1)

性 状： 無色透明の液体

沸 点： 139°C (746mmHg)

蒸 気 圧： 2.96mmHg (20°C)

比 重： 0.9721 (25°C/4°C)

溶 解 性： 水、アセトン、エタノールに可溶

保管条件： 室温で暗所に保管

I-2 被験物質の使用ロット等

使用ロット番号： DPG1369 (2007/01/10~2007/09/11)

TSK2532 (2007/09/12~2008/04/04)

ALQ3659 (2008/04/07~2008/08/12)

ALL1711 (2008/08/13~2009/01/06)

製造元： 和光純薬工業(株)

グレード： 試薬特級

純度： 99.9～100.0% (和光純薬工業(株) 検査成績書データ)

I-3 被験物質の特性・同一性、安定性

I-3-1 特性・同一性

被験物質の同一性は、ロットごとにマススペクトルを質量分析計 ((株)日立製作所 M-80B) を用いて測定し、また、赤外吸収スペクトルを赤外分光光度計 ((株)島津製作所 FTIR-8200PC) を用いて測定し、それぞれの文献値と比較することにより確認した。

その結果、被験物質のマススペクトルは文献値 (文献 2) と同じ分子イオン及びフラグメントピークを示し、また、赤外吸収スペクトルも文献値 (文献 3) と同じ波数にピークが認められ、被験物質は 2,4-ペンタンジオンであることを確認した。

それらの結果は APPENDIX 1-1 に示した。

I-3-2 安定性

被験物質の安定性は、ロットごとに使用開始前及び使用終了後にガスクロマトグラムをガスクロマトグラフ (アジレントテクノロジーズ 5890A) を用いて測定し、それぞれのデータを比較することにより確認した。

その結果、各ロットとも使用開始前と使用終了後の測定結果に差はみられず、使用期間中の被験物質は安定であることを確認した。

それらの結果は APPENDIX 1-2 に示した。

I-4 試験動物

動物は、日本チャールス・リバー(株) (厚木飼育センター：神奈川県厚木市下古沢 795) の B6D2F1/Crlj マウス (SPF) の雌雄を使用した。

雌雄各 227 匹を 4 週齢で導入し、検疫、馴化を各 1 週間実施した後、発育順調で一般状態に異常を認めなかった動物から、体重値の中央値に近い雌雄各 200 匹 (群構成時体重範囲、雄：21.7～25.3g、雌：17.9～21.1g) を選別し、試験に用いた。

なお、B6D2F1/Crlj マウス (SPF) を選択した理由は、遺伝的に安定していること、過去に多くのがん原性試験に用いたデータがあり、化学物質による腫瘍発生の感受性が知られていることによる。

II 試験方法

II-1 投与

II-1-1 投与経路

投与経路は全身暴露による経気道投与とした。

II-1-2 被験物質の投与方法

投与は、試験動物を収容した吸入チャンバー内に、設定濃度に調整した被験物質を含む空気を送り込み、動物に全身暴露することにより行った。

II-1-3 投与期間

投与期間は、1日6時間、原則として1週5日の暴露で104週間とし、計490回の暴露を行った。

II-1-4 投与濃度

投与濃度は、100、200及び400 ppm（体積比 v/v）の3段階（公比2）に設定した。なお、対照群は清浄空気による換気のみとした。

II-1-5 投与経路、投与期間及び投与濃度の設定理由

投与経路は被験物質を生産、使用する作業環境における労働者への主な暴露経路に合わせ、全身暴露による経気道投与とした。

投与期間はがん原性試験による調査の基準（安衛法）（文献4）及びOECD化学品テストガイドライン451（発癌性試験）（文献5）に従い、2年間（104週間）とした。

投与濃度は2週間吸入試験（試験番号0583）及び13週間試験（試験番号0601）の結果（文献6、7）をもとに決定した。2週間試験は0（対照群）、50、100、200、400及び800 ppmの濃度で行った。その結果、800 ppm群で動物（雌の全匹）の死亡がみられたが、400 ppm以下の群では死亡はみられなかった。13週間試験は0（対照群）、25、50、100、200及び400 ppmの濃度で行った。その結果、2,4-ペンタンジオンの影響と考えられる動物の死亡及び一般状態、体重、摂餌量、臓器重量、尿検査、剖検の変化はみられなかったが、400 ppm群では病理組織検査で雌の鼻腔に変化がみられ、また、血液学的検査及び血液生

化学的検査で雄に変化がみられた。しかし、病理組織検査でみられた鼻腔の変化を含め、変化の程度は全て軽度であった。また、200 ppm 以下の群には、雌雄とも 2,4-ペンタンジオン暴露の明らかな毒性影響は認められなかった。

これらの結果より、がん原性試験の投与濃度は、雌雄とも 400 ppm を最高濃度とし、以下、200、100 ppm（公比 2）と決定した。

II-1-6 被験物質の発生方法と濃度調整

被験物質の発生方法は FIGURE 1 に示した。被験物質供給装置（柴田科学(株) 特注）の発生容器内の被験物質を循環式恒温槽で加熱しながら、清浄空気のバブリングにより蒸発させた。この被験物質の蒸気を清浄空気（搬送空気）と混合し、さらに循環式恒温槽で一定温度に冷却、再加熱し、一定濃度にした後、流量計を用いて一定量を吸入チャンバー上部のラインミキサーに供給した。

吸入チャンバー内の被験物質濃度はガスクロマトグラフで監視し、その濃度データをもとに設定濃度になるように被験物質の吸入チャンバーへの供給量を調節した。

II-1-7 被験物質濃度の測定

吸入チャンバー内の被験物質濃度は、自動サンプリング装置付ガスクロマトグラフ（(株) 島津製作所 GC-14B）により、暴露開始前から暴露終了後まで 15 分ごとに測定した。

濃度測定結果を TABLE A に示した。各投与群の被験物質濃度は、その平均値と設定濃度の差（（平均値－設定濃度）／設定濃度×100）及び変動係数（標準偏差／平均値×100）とも 0.9%以内であり、高い精度でチャンバー内濃度が管理されていることが示された。

II-2 動物管理

II-2-1 各群の使用動物数

投与群 3 群及び対照群 1 群の計 4 群を設け、各群雌雄各 50 匹の動物を用いた。

群名称	動物数（動物番号）	
	雄	雌
対照群	50 匹（1001～1050）	50 匹（2001～2050）
100 ppm 群	50 匹（1101～1150）	50 匹（2101～2150）
200 ppm 群	50 匹（1201～1250）	50 匹（2201～2250）
400 ppm 群	50 匹（1301～1350）	50 匹（2301～2350）

II-2-2 群分け及び個体識別方法

供試動物の各群への割り当ては、一般状態及び体重の推移に異常を認めなかった動物を体重の重い順より各群に 1 匹ずつ割り当て、二巡目からは各群の動物の体重の合計を比較して、小さい群より順に体重の重い動物を割り当てることにより、群間の体重の偏りを小さくする群分け方法（適正層別方式）により実施した（文献 8）。

動物の個体識別は、検疫期間及び馴化期間では尾に油性マーカーによる色素塗布、投与期間では耳パンチにより行った。また、ケージには個体識別番号を記したラベルを付した。

なお、動物はバリア区域内の独立した室（502 室）に収容し、室の扉に試験番号、動物種及び動物番号を表示し、他試験及び異種動物と区別した。

II-2-3 飼育条件

(1) 飼育環境

検疫期間中は検疫室（517・518 室）で、馴化期間及び投与期間中は、吸入試験室（502 室）の吸入チャンバー内で動物を飼育した。

検疫室、吸入試験室及び吸入チャンバー内の環境条件及び使用したケージを以下に示した。検疫室、吸入試験室の温度、湿度は実測値（平均値±標準偏差）を < > 内に、また、吸入チャンバー内環境の測定結果は APPENDIX 2 に示した。検疫室、吸入試験室及び吸入チャンバー内の環境には、動物の健康状態に影響を与えるような大きな変化は認められなかった。

温 度 : 検疫室 ; $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ < 517 室 ; $23.2 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、518 室 ; $23.1 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ >

吸入試験室 ; $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ < 502 室 ; $21.7 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ >

吸入チャンバー内 ; $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$

湿 度 : 検疫室 ; $55 \pm 15\%$ < 517 室 ; $49 \pm 2\%$ 、518 室 ; $51 \pm 1\%$ >

吸入チャンバー内 ; $50 \pm 20\%$ (但し、投与群の湿度は暴露中及び暴露終了後 1 時間まで測定しなかった。)

明暗サイクル : 12 時間点灯(8:00~20:00)/12 時間消灯(20:00~8:00)

換気回数 : 検疫室 ; 15~17 回/時

吸入試験室 ; 7~9 回/時

吸入チャンバー内 ; 12 ± 1 回/時

圧 力 : 吸入チャンバー内 ; $0 \sim -15 \times 10\text{Pa}$

ケージへの動物の収容方法 : 単飼

ケージの材質・形状・寸法等 :

検疫期間 ; ステンレス製 2 連網ケージ (112(W)×212(D)×120(H) mm/匹)

馴化期間 ; ステンレス製 6 連網ケージ (95(W)×116(D)×120(H) mm/匹)

投与期間 ; ステンレス製 5 連網ケージ (100(W)×116(D)×120(H) mm/匹)

(2) 飼料

飼料は、全飼育期間を通して、オリエンタル酵母工業(株) (千葉工場：千葉県千葉市美浜区新港 8-2) の CRF-1 固型飼料 (30kGy- γ 線照射滅菌飼料) を固型飼料給餌器により自由摂取させた。ただし、定期解剖前日の夕方からは飼料を摂取させなかった。

なお、試験に使用した飼料の栄養成分についてはオリエンタル酵母工業(株)から自社分析データを使用ロットごとに入手し、保管した。飼料中の夾雑物については(財)日本食品分析センター (東京都渋谷区元代々木町 52-1) 及びユーロフィンズサイエンティフィック社 (東京都世田谷区下馬 4-16-21) の分析データを使用ロットごとに入手し、試験計画書に規定した許容基準と照合して異常のないことを確認し、保管した。

(3) 飲水

飲水は、全飼育期間を通して、市水 (神奈川県秦野市水道局供給) をフィルターろ過した後、紫外線照射し、自動給水装置により自由摂取させた。

なお、飲水は、試験施設として実施している定期サンプリングによる飲水を(財)食品薬品安全センター秦野研究所 (神奈川県秦野市落合 729-5) に依頼して、水道法を参考にして規定した項目について分析し、結果を試験計画書に規定した許容基準と照合して異常のないことを確認し、保管した。

II-3 観察・検査項目及び方法

II-3-1 動物の生死及び一般状態の観察

動物の生死及び瀕死の確認を毎日 1 回、また、一般状態の詳細な観察は週 1 回行った。

II-3-2 体重測定

体重測定は、投与開始後 14 週間は週 1 回、それ以降は 4 週に 1 回 (104 週にも測定) 行った。また、動物の死亡発見時、切迫屠殺時及び定期解剖動物の搬出時にも体重 (搬出時体重) を測定した。

II-3-3 摂餌量測定

摂餌量は、投与開始後 14 週間は週 1 回、それ以降は 4 週に 1 回 (104 週にも測定) 給餌量及び残餌量を測定し、その値から 1 匹 1 日当たりの摂餌量を算出した。

II-3-4 血液学的検査

定期解剖時に生存していた採血可能な動物について、剖検直前にエーテル麻酔下で腹大動脈より EDTA-2 カリウム入り採血管に採血した血液を用いて、下記の項目について検査を行った。検査方法は APPENDIX 3 に示した。

検査項目：赤血球数、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値、平均赤血球容積(MCV)、平均赤血球ヘモグロビン量(MCH)、平均赤血球ヘモグロビン濃度(MCHC)、血小板数、網赤血球比、白血球数、白血球分類

II-3-5 血液生化学的検査

定期解剖時に生存していた採血可能な動物について、剖検直前にエーテル麻酔下で腹大動脈よりヘパリンリチウム入り採血管に採血した血液を遠心分離し、得られた血漿を用いて、下記の項目について検査を行った。検査方法は APPENDIX 3 に示した。

検査項目：総蛋白、アルブミン、A/G 比、総ビリルビン、グルコース、総コレステロール、トリグリセライド、リン脂質、AST、ALT、LDH、ALP、 γ -GTP、CK、尿素窒素、ナトリウム、カリウム、クロール、カルシウム、無機リン

II-3-6 尿検査

投与 102 週の検査時まで生存した動物から、新鮮尿を採取し、尿試験紙（ウロラブスティックス、シーメンスヘルスケア・ダイアグノスティクス社）を用いて、下記の項目について検査を行った。

検査項目：pH、蛋白、グルコース、ケトン体、潜血、ウロビリノーゲン

II-3-7 病理学的検査

(1) 剖検

全動物について肉眼的に観察を行った。

(2) 臓器重量

定期解剖時まで生存した動物について、下記に示した臓器の湿重量（臓器実重量）を測定した。また、各臓器の湿重量の搬出時体重に対する百分率（臓器重量体重比）を算出した。

測定臓器：副腎、精巣、卵巣、心臓、肺、腎臓、脾臓、肝臓、脳

(3) 病理組織学的検査

全動物について下記に示した器官、組織を摘出し、10%中性リン酸緩衝ホルマリン溶液で固定後、パラフィン包埋、薄切、ヘマトキシリン・エオジン染色し、光学顕微鏡で病理組織学的に検査した。

なお、鼻腔については切歯の後端（レベル1）、切歯乳頭（レベル2）、第一臼歯の前端（レベル3）の3ヶ所（文献9）で切り出し（横断）、検査した。

検査器官・組織：皮膚、鼻腔、鼻咽頭、喉頭、気管、肺、骨髄（大腿骨）、リンパ節（腋窩、腹壁等）、胸腺、脾臓、心臓、舌、唾液腺、食道、胃、小腸（十二指腸を含む）、大腸、肝臓、胆嚢、膵臓、腎臓、膀胱、下垂体、甲状腺、上皮小体、副腎、精巣、精巣上体、精嚢、前立腺、卵巣、子宮、膣、乳腺、脳、脊髄、末梢神経（坐骨神経）、眼球、ハーダー腺、筋肉、骨（大腿骨）、肉眼的に変化のみられた器官及び組織

II-4 数値処理と統計方法

II-4-1 数値の取り扱いと表示

各数値データは測定機器の精度に合わせて表示した。

吸入チャンバー内の被験物質濃度は ppm を単位として、小数点以下第3位まで測定し、小数点以下第2位を四捨五入して小数点以下第1位までを表示した。

体重は g を単位とし、小数点以下第1位まで測定し、表示した。

摂餌量は g を単位とし、給餌量及び残餌量を小数点以下第1位まで測定し、給餌量値から残餌量値を減じて摂餌量とした。この値を測定期間の日数で除し、1日当たりの平均摂餌量を算出し、小数点以下第2位を四捨五入して小数点以下第1位までを表示した。

臓器実重量は g を単位とし、小数点以下第3位まで測定し、表示した。臓器重量体重比は臓器実重量値を搬出時体重で除し、パーセント単位で小数点以下第4位を四捨五入し、小数点以下第3位までを表示した。

血液学的検査、血液生化学的検査は APPENDIX 3 に示した単位と精度により表示した。

なお、各数値データの平均値及び標準偏差は上記に示した桁数と同様になるよう四捨五入を行い表示した。

II-4-2 統計処理

各群の有効動物数は、供試動物より事故等の理由で外された動物数を減じた動物数とした。病理組織学的検査は、臓器ごとに検査不能臓器を除いた臓器数、その他の検査及び測定は、実施できた動物数を検査（測定）数とした。

体重、摂餌量、血液学的検査、血液生化学的検査及び臓器重量の測定値は、対照群を基準

群として、まず Bartlett 法により等分散の予備検定を行い、その結果が等分散の場合には一元配置分散分析を行い、群間に有意差が認められた場合は Dunnett の多重比較により平均値の検定を行った。また、分散の等しくない場合には各群を通して測定値を順位化して、Kruskal-Wallis の順位検定を行い、群間に有意差が認められた場合には Dunnett 型の多重比較を行った。

病理組織学的検査のうち非腫瘍性病変については、所見のみられなかった動物をグレード 0、所見のみられた動物は、その所見の程度及び範囲などを基準にしてグレード 1～4 に分け、 χ^2 検定を行った。また、尿検査についても対照群と各投与群間との χ^2 検定を行った。

腫瘍性病変については、各臓器の腫瘍ごとに、各群ごとの総担腫瘍臓器数について、Peto 検定（文献 10）、Cochran-Armitage 検定、Fisher 検定を行った。また、Peto 検定は病理組織学的検査時に付与されたコンテックス(注)を用いて、死亡率法（コンテックス 3, 4 を付与された腫瘍についての検定）、有病率法（コンテックス 0, 1, 2 を付与された腫瘍についての検定）、死亡率法＋有病率法（コンテックス 0～4 の総計で検定）を行った。

各検定は 5%の有意水準で、Peto 検定、Fisher 検定は片側検定、その他の検定は両側検定を行い、検定結果を表示する場合には 5%及び 1%の有意水準の表示を行った。

注： Peto 検定に用いるコンテックス

- 0：定期解剖動物にみつかった腫瘍
- 1：死亡／瀕死動物にみつかった腫瘍で、直接死因に関係しない腫瘍
- 2：多分 1 だと思いが、確かでない腫瘍
- 3：多分 4 だと思いが、確かでない腫瘍
- 4：死亡／瀕死動物にみつかった腫瘍で、直接死因に係わっていた腫瘍

Ⅲ 試験成績

Ⅲ-1 生死状況

生死状況を TABLE B 1, 2 及び FIGURE 2, 3 に示した。

—雄—

投与群の生存率に被験物質の影響はみられなかった。

各群の 104 週における生存動物数（生存率）は、対照群：30 匹（60%）、100 ppm 群：31 匹（62%）、200 ppm 群：34 匹（69%）、400 ppm 群：39 匹（78%）であった。

なお、200 ppm 群では投与 91 週の 6 日に 1 匹（動物番号 1219）が事故死亡したため、同群の有効動物数は 49 匹となった。

—雌—

投与群の生存率に被験物質の影響はみられなかった。

各群の 104 週における生存動物数（生存率）は、対照群：31 匹（62%）、100 ppm 群：27 匹（55%）、200 ppm 群：26 匹（52%）、400 ppm 群：34 匹（68%）であった。

なお、100 ppm 群では投与 4 週の 7 日に 1 匹（動物番号 2109）が事故死亡したため、同群の有効動物数は 49 匹となった。

Ⅲ-2 一般状態

一般状態の観察結果を TABLE C 1, 2 に示した。

—雌雄—

被験物質の影響と思われる所見はみられなかった。

Ⅲ-3 体重

体重の推移を TABLE D 1~4 及び FIGURE 4, 5 に示した。

—雄—

400 ppm 群は投与期間の中盤（58 週）まで、100 ppm 群は投与期間の初期（14 週まで）に体重増加の抑制がみられたが、それぞれそれ以降は回復し、両投与群とも対照群と同様な体重推移を示した。

最終計測日（104 週）の各投与群の体重は、対照群に対して 100 ppm 群：98%、200 ppm 群：101%、400 ppm 群：97%であった。

—雌—

被験物質の影響と思われる変化はみられなかった。なお、100 ppm 群は投与期間後半、200 ppm 群は投与期間中盤以降、対照群に比べ体重が高値であったが、被験物質との関連

は不明であった。

最終計測日（104 週）の各投与群の体重は、対照群に対して 100 ppm 群：111%、200 ppm 群：110%、400 ppm 群：101%であった。

Ⅲ-4 摂餌量

摂餌量を TABLE E 1~4 及び FIGURE 6, 7 に示した。

—雄—

400 ppm 群の摂餌量は投与期間の 30 週以降、低値で推移した。

—雌—

被験物質の影響と思われる変化はみられなかった。

Ⅲ-5 血液学的検査

血液学的検査の結果を TABLE F 1, 2 に示した。

—雌雄—

被験物質の影響と思われる変化はみられなかった。

Ⅲ-6 血液生化学的検査

血液生化学的検査の結果を TABLE G 1, 2 に示した。

—雄—

A/G 比とグルコースの高値が 200 ppm 以上の群で、AST、ALT、CK、尿素窒素、無機リンの低値が 400 ppm 群でみられた。

—雌—

被験物質の影響と思われる変化はみられなかった。

Ⅲ-7 尿検査

尿検査の結果を TABLE H 1, 2 に示した。

—雄—

被験物質の影響と思われる変化はみられなかった。

なお、蛋白陽性度の減少が 200 ppm 群でみられたが、投与濃度に対応した変化ではなかった。

—雌—

蛋白陽性度及びケトン体陽性例の増加が 400 ppm 群でみられた。

Ⅲ-8 病理学的検査

Ⅲ-8-1 剖検

剖検所見を TABLE I 1~6 に示した。

—雄—

被験物質の影響と思われる所見の増加は認められなかった。

—雌—

下垂体の結節が、対照群 2 匹、100 ppm 群 2 匹、200 ppm 群 6 匹、400 ppm 群 5 匹、下垂体の腫大が、対照群 0 匹、100 ppm 群 3 匹、200 ppm 群と 400 ppm 群に 4 匹にみられ、結節、腫大とも投与群にやや多かった。

Ⅲ-8-2 臓器重量

定期解剖時に測定した臓器の実重量と体重比を TABLE J 1, 2 と TABLE K 1, 2 に示した。

—雄—

被験物質の影響と思われる変化はみられなかった。

—雌—

被験物質の影響と思われる変化はみられなかった。

なお、肺と腎臓の体重比の低値が 100 ppm 群に、脳の体重比の低値が 100 ppm 群と 200 ppm 群にみられたが、これらの変化は 100 ppm 群と 200 ppm 群の搬出時体重の高値によるものと考えた。

Ⅲ-8-3 病理組織学的検査

検査結果のうち非腫瘍性病変を TABLE L 1~6 に示した。腫瘍性病変の結果は、担腫瘍動物数と腫瘍数を TABLE M 1, 2 に、腫瘍の種類別の発生数を TABLE N 1, 2 に、統計解析 (Peto 検定、Cochran-Armitage 検定、Fisher 検定) の結果を TABLE O 1, 2 に、転移性病変を TABLE P 1, 2 に示した。また、病理組織所見の代表例を写真 1~6 に示した。

—雄—

1) 腫瘍性病変

<全臓器>

全臓器を合わせた組織球性肉腫の発生が、定期解剖動物 (生存動物) では対照群、100 ppm 群、200 ppm 群は 0 匹、400 ppm 群は 3 匹となり、Peto 検定 (有病率法) で増加傾向を示した。しかし、全動物の全臓器を合わせた組織球性肉腫の発生は、対照群 3 匹、100 ppm 群 2 匹、200 ppm 群 2 匹、400 ppm 群 4 匹であり、対照群と投与群の発生数に差はみられ

なかった。従って、被験物質の暴露による組織球性肉腫の発生増加はなかったと判断した。

なお、肝臓の肝細胞腺腫の発生増加が 200 ppm 群で認められたが、投与濃度に対応した変化ではなかった。

2) 非腫瘍性病変

<鼻腔>

鼻腔に滲出液がみられ、呼吸上皮、嗅上皮及び腺に病変の増加が観察された。

鼻腔に滲出液の貯留がみられる動物の発生匹数の増加が全投与群で認められた。鼻腔の滲出液は、エオジンに淡染する液体が、レベル 3 の鼻腔背側の篩骨甲介の周囲に貯留したもので、程度が強いものはレベル 3 の側方から下方の鼻腔まで範囲が拡大していた。また、滲出液が貯留した領域の嗅上皮は萎縮を示していた。

呼吸上皮には、扁平上皮化生とエオジン好性変化が 200 ppm 以上の群で発生匹数の増加が認められた。また、重度の潰瘍が 400 ppm 群で 1 匹、移行上皮の過形成が 200 ppm 群と 400 ppm 群で各 1 匹にみられた。呼吸上皮の扁平上皮化生は、移行上皮部の呼吸上皮が扁平上皮に置き換えられた変化である。この所見は鼻の前方に近いレベル 1 の鼻甲介の先端、上顎甲介の上部及びその外側の移行上皮部に認められた。また、重度な呼吸上皮の潰瘍を示した個体はレベル 1 の鼻中隔に穿孔がみられた。

嗅上皮には、上皮の萎縮の発生匹数の増加が 200 ppm 以上の群で認められ、100 ppm 群でも 4 匹に発生がみられた。また、嗅上皮の呼吸上皮化生が 200 ppm 以上の群で発生匹数の増加が認められた。嗅上皮の萎縮は、嗅細胞の減数により嗅上皮の丈が低くなった所見であり、レベル 2 の背側にみられるものと、レベル 3 の滲出液の貯留した部位にみられるものがあつた。

粘膜下の腺には、呼吸上皮化生の発生匹数の増加や程度の増強が 400 ppm 群で認められた。腺の呼吸上皮化生は、粘膜下の腺組織が線毛を有する呼吸上皮で置き換えられた変化であつた。

その他、髄外造血の発生匹数の増加が 100 ppm 群で認められたが、投与濃度に対応した変化ではなかった。また、膀胱の拡張の発生匹数の減少が 400 ppm 群で認められた。

—雌—

1) 腫瘍性病変

被験物質の暴露による腫瘍の発生増加はみられなかった。

2) 非腫瘍性病変

<鼻腔>

鼻腔に滲出液がみられ、呼吸上皮、嗅上皮及び腺に病変の増加が観察された。

鼻腔に滲出液の貯留がみられる動物の発生匹数の増加が全投与群で認められた。

呼吸上皮には、扁平上皮化生の発生匹数の増加が 200 ppm 以上の群で認められた。また、壊死の発生匹数の増加が 200 ppm 群で認められ、400 ppm 群でも統計学的有意差はないが壊死の発生があった。さらに、重度の潰瘍が 100 ppm 群に 1 匹と 400 ppm 群に 3 匹みられた。

嗅上皮には、上皮の萎縮が全投与群で、呼吸上皮化生が 200 ppm 以上の群で、エオジン好性変化が 400 ppm 群で発生匹数や程度の増加が認められた。また、上皮の壊死が 200 ppm 群と 400 ppm 群でみられた。

粘膜下の腺には、呼吸上皮化生の発生匹数の増加が 400 ppm 群で認められた。

その他、鼻腔の呼吸上皮のエオジン好性変化の発生匹数の減少が 100 ppm 群と 200 ppm 群で認められたが投与濃度に対応した変化ではなかった。また、脾臓の髄外造血の減弱及び下垂体の過形成の減少が 400 ppm 群で認められた。

III-8-4 死因

病理学的にみた死亡／瀕死の原因を TABLE Q 1, 2 に示した。

—雌雄—

投与群に特定の病変あるいは腫瘍による死亡の増加はみられなかった。

IV 考察及びまとめ

2,4-ペンタンジオンのマウスを用いた2年間の全身暴露による吸入試験（投与濃度：0（対照群）、100、200及び400 ppm）を行ったが、2,4-ペンタンジオンによる腫瘍性病変の発生は認められなかった。

IV-1 生存率、一般状態、体重、摂餌量

生存率及び一般状態に2,4-ペンタンジオンの暴露による影響はみられなかった。

体重は、雄の400 ppm群は投与期間の中盤（58週）まで、100 ppm群は投与期間の初期（14週まで）に増加の抑制がみられたが、それぞれそれ以降は回復し、両投与群とも対照群と同様な体重推移を示した。雄の投与群の最終体重は、対照群に対して100 ppm群：98%、200 ppm群：101%、400 ppm群：97%であった。雌では2,4-ペンタンジオンの影響と思われる変化はみられなかった。雌の投与群の最終体重は、対照群に対して100 ppm群：111%、200 ppm群：110%、400 ppm群：101%であった。

摂餌量は、雄の400 ppm群が投与期間の30週以降、低値で推移した。雌では2,4-ペンタンジオンの影響と思われる変化はみられなかった。

IV-2 腫瘍性病変及び腫瘍関連病変

雌雄とも2,4-ペンタンジオンの暴露による腫瘍の発生増加及び腫瘍関連病変の発生増加は認められなかった。

IARC（文献11）は、がん原性試験の最高投与濃度を、亜慢性試験の結果からある程度の毒性影響が起きることが推定される濃度であり、腫瘍発生の結果以外で動物の寿命の長さを短縮させず、対照群と比較して10%以上の体重増加の抑制を引き起こす毒性兆候を惹起させないことが推定される濃度と定義した。米国国立がん研究所（NCI）小動物発がん性試験ガイドラインでは（文献12）、小動物を用いるがん原性試験の最高投与濃度は、対照群と比較して10%以下の体重抑制を引き起こす濃度で、かつ発がん性に関係する反応以外に、毒性的兆候、病理学的傷害による死亡率の上昇を引き起こさないと推定される最高濃度、即ち、最大耐量（Maximum Tolerated Dose (MTD)）を最高投与濃度として用いると定義した。また、体重増加の抑制に関する勧告は経験的なものであり、結果として超過した場合でもがん原性試験を無効にするものではないともいわれている（文献13）。

本がん原性試験の投与濃度は、II-1-5に示したように、2週間吸入試験（試験番号0583）及び13週間試験（試験番号0601）の結果（文献6、7）をもとに決定した。2週間試験では800 ppm群で雌の全動物が死亡したが、400 ppm以下の群では死亡はみられなかった。13週間試験は25～400 ppm（公比2）の濃度で行った。その結果、2,4-ペンタンジオンの影響と考

えられる動物の死亡及び一般状態、体重、摂餌量、臓器重量、尿検査、剖検の変化はみられなかったが、400 ppm 群では病理組織検査で雌の鼻腔に変化がみられ、また、血液学的検査及び血液生化学的検査で雄に変化がみられた。しかし、病理組織検査でみられた鼻腔の変化を含め、変化の程度は全て軽度であった。また、200 ppm 以下の群には、雌雄とも 2,4-ペンタンジオン暴露の明らかな毒性影響は認められなかった。これらの結果より、がん原性試験の最高濃度は、雌雄とも 400 ppm とした。

本がん原性試験においては、最高濃度群の 400 ppm 群は雌雄とも生存率に暴露による低下はみられなかった。また、鼻腔に病理組織学的変化がみられたが、最終体重は雄では対照群の 97%、雌は同 101%であった。従って、本試験の最高濃度 400 ppm は、上記基準の MTD を下回っていた可能性がある。しかし、雄の 400 ppm 群の体重は投与期間の中盤まで増加抑制がみられ、投与期間の 2、3 週、5 週から 18 週及び 50 週から 58 週は対照群に比べ有意に低値であり、投与 74 週でも対照群の 94%であった。鼻腔に 2,4-ペンタンジオンの毒性影響と考えられる病理組織学的変化がみられたことと合わせ、雄においては 400 ppm 群は MTD に近い濃度と考えられる。

IV-3 その他の影響

血液学的検査では変化がみられず、血液生化学的検査と尿検査で 200 ppm 以上の群にいくつかの項目に変化がみられたのみであった。

血液生化学的検査では、雄で A/G 比とグルコースの高値が 200 ppm 以上の群で、AST、ALT、CK、尿素窒素、無機リンの低値が 400 ppm 群でみられた。

尿検査では、雌で蛋白陽性度及びケトン体陽性例の増加が 400 ppm 群でみられた。

しかし、病理学的検査では血液生化学的検査や尿検査でみられた変化に関連すると思われる変化はみられなかった。

病理学的検査では、剖検で雌の下垂体の結節と腫大が投与群にやや多かったが、病理組織学的検査では対照群に比べ、腫瘍性病変を含め雌の投与群に下垂体の病変の増加はみられなかった。臓器重量では 2,4-ペンタンジオンの影響と思われる変化はみられなかった。

病理組織学的検査では鼻腔に 2,4-ペンタンジオンの影響がみられた。鼻腔には雌雄とも滲出液の貯留がみられ、呼吸上皮、嗅上皮及び粘膜下の腺に病変の増加がみられた。呼吸上皮には、扁平上皮化生（雌雄）、エオジン好性変化（雄）の増加がみられ、重度の潰瘍（雌雄）、壊死（雌）及び移行上皮過形成（雄）もみられた。嗅上皮には萎縮（雌雄）、呼吸上皮化生（雌雄）、エオジン好性変化（雌）の増加がみられ、壊死（雌）もみられた。粘膜下の腺には呼吸上皮化生（雌雄）の増加がみられた。

滲出液の貯留と嗅上皮の変化は最低濃度の 100 ppm まで、呼吸上皮の変化は 200 ppm 以上、粘膜下の腺の変化は 400 ppm の濃度でみられた。

呼吸上皮の潰瘍、壊死及び嗅上皮の萎縮、壊死は、呼吸上皮や嗅上皮に対する傷害を示す変

化であり、呼吸上皮の扁平上皮化生及び嗅上皮の呼吸上皮化生は、呼吸上皮や嗅上皮における傷害に対する修復の像である（文献 14）。また、レベル 3 の鼻腔の背側を中心に滲出液の貯留が認められた。この変化は上皮からの分泌の亢進を示す所見と考えられた。さらに、少数例であったが雄の呼吸上皮では、扁平上皮との移行部にある移行上皮に過形成を認める例もあった。以上のように、本試験では鼻腔の広い範囲に 2,4-ペンタンジオンの影響が認められた。しかし、腫瘍への移行は認められなかった。

また、本試験の予備試験として当センターで実施した 13 週間試験（文献 7）では、雄の鼻腔には影響がみられなかったが、雌の 400 ppm 群の鼻腔に嗅上皮の空胞変性が 2 匹に認められた。本試験では、長期間の暴露により嗅上皮の変化が増強し、さらに、滲出液の貯留、呼吸上皮と粘膜下の腺の変化が加わった。また、雌雄ともより低濃度まで変化が生じた。

鼻腔以外の臓器には、2,4-ペンタンジオンの暴露による影響はみられなかった。

IV-4 最小毒性量 (LOAEL)

以上のように本がん原性試験では、血液生化学的検査、尿検査、病理組織学的検査で 2,4-ペンタンジオンの影響と思われる変化がみられた。

その中で、病理組織学的検査で雌雄にみられた鼻腔の滲出液の貯留と嗅上皮の萎縮はともに最低濃度群の 100 ppm 群までみられた。従って、本試験における 2,4-ペンタンジオンのマウスに対する 2 年間吸入暴露による最小毒性量 (LOAEL) は、鼻腔への影響をエンドポイントとして 100 ppm であると考えられた。

IV-5 他文献との比較等

- ① がん原性：2,4-ペンタンジオンのマウスを用いたがん原性試験または長期試験に関する文献はなかった。また、IARC では 2,4-ペンタンジオンのがん原性について評価を行っていない。
- ② 変異原性：2,4-ペンタンジオンの変異原性については幾つかの報告がある。ネズミチフス菌 TA98、TA100、TA1535、TA1537 及び TA1538 を用いた Ames 試験では、ラット S9 を用いた代謝活性化による場合とよらない場合とも陰性であったと報告されている（文献 15）。チャイニーズ・ハムスターの卵巣由来の CHO 細胞株を用いた遺伝子突然変異試験でも、ラット S9 を用いた代謝活性化による場合とよらない場合とも陰性であったと報告されている（文献 16）。一方、CHO 細胞を用いた染色体異常試験において、ラット S9 を用いた代謝活性化による場合とよらない場合で試験を実施したところ、代謝活性化による場合では陰性であったが、代謝活性化によらない場合では 2,4-ペンタンジオンの最終濃度が 0.08、0.10 及び 0.12 mg/mL の場合に陽性の結果を示したと報告されている（文献 17）。さらに、小核試験では、2,4-ペンタンジオンを 200、400 及び 650 mg/kg の用量で腹腔内

投与した **Swiss-Webster** マウスから採取した骨髄細胞に統計学的に有意な頻度の小核が誘発されたと報告されている（文献 18）。

2,4-ペンタンジオンを用いた上記の 4 種類の変異原性試験の中で、遺伝子突然変異を検出する試験系である **Ames** 試験及び **CHO** 細胞を用いた遺伝子突然変異試験では陰性の結果であったが、染色体異常を検出する試験系である染色体異常試験及び小核試験において陽性の結果であった。2,4-ペンタンジオンの変異原性は遺伝子レベルの変異ではなく染色体レベルの変異であると推測された。

V 結論

B6D2F1/Crlj マウスを用いて、2,4-ペンタンジオンの2年間（104週間）にわたる吸入によるがん原性試験を行った結果、以下の結論を得た。

雌雄とも腫瘍の発生増加は認められず、2,4-ペンタンジオンのマウスに対するがん原性はなかった。

VI 文献

1. U.S. National Library of Medicine, Specialized Information Services 2003. Acetyl acetone. Chemical/Physical Properties. Hazardous Substances Data Bank (HSDB). Available: <http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search> [accessed 18 August 2005].
2. McLafferty FW, ed. 1994. Wiley Registry of Mass Spectral Data. 6th ed. New York, NY : John Wiley and Sons.
3. 和光純薬工業(株). 2005. 2,4-ペンタンジオン, 赤外吸収スペクトル.
4. 労働省労働基準局長. 1997. がん原性試験による調査の基準. 基発 第 144 号, 平成 9 年 3 月 11 日.
5. OECD. 1981. OECD Guideline for Testing of Chemicals 451 "Carcinogenicity Studies". Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
6. 日本バイオアッセイ研究センター. 2006. 2,4-ペンタンジオンのマウスを用いた吸入による 2 週間毒性試験報告書. 神奈川: 中央労働災害防止協会, 日本バイオアッセイ研究センター.
7. 日本バイオアッセイ研究センター. 2006. 2,4-ペンタンジオンのマウスを用いた吸入による 13 週間毒性試験報告書. 神奈川: 中央労働災害防止協会, 日本バイオアッセイ研究センター.
8. 阿部正信. 1986. 長期毒性試験に用いるラット、マウスの体重変化の解析による群分けの適正層別方式の確立. 薬理と治療 14: 7285-7302.
9. Nagano K, Katagiri T, Aiso S, Senoh H, Sakura Y, Takeuchi T. 1997. Spontaneous lesions of nasal cavity in aging F344 rats and BDF1 mice. *Exp Toxic Pathol.* 49: 97-104.
10. Peto R, Pike MC, Day NE, Gray RG, Lee PN, Parish S, et al. 1980. Guidelines for simple, sensitive significance tests for carcinogenic effects in long-term animal experiments. In: *Long-Term and Short-Term Screening Assays for Carcinogens: A*

- Critical Appraisal. Lyon: IARC. IARC Monographs Suppl 2: 311-426.
11. Bannasch P, Griesemer RA, Anders F, Becker R, Cabral JR, Della Porta G, et al. 1986. Long-term assays for carcinogenicity in animals. In: Long-Term and Short-Term Assays for Carcinogens: A Critical Appraisal. (Montesano R, Bartsch H, Vainio H, Wilbourn J, Yamasaki H. eds.). Lyon: IARC. IARC Scientific Publications No. 83: 13-83.
 12. Sontag JM, Page NP, Saffiotti U. 1976. Guidelines for carcinogene bioassay in small rodents. NCI-CG-TR-1. DHEW Publication No.(NIH)76-801. Bethesda,MD: National Cancer Institute. 13-15.
 13. Haseman JK. 1985. Issues in carcinogenicity testing: dose selection. *Fundam Appl Toxicol.* 5: 66-78.
 14. 長野嘉介. 2000. 各論 1 章, 上部気道, 毒性病理組織学 (日本毒性病理学会編). 名古屋:日本毒性病理学会. 99-116.
 15. Bushy Run Research Center. 1985. 2,4-Pentanedione. Salmonella/Microsome (Ames) Bacterial Mutagenicity Assay. EPA Document No. FYI-OTS-0286-0434, Fiche No. OTS0000434-0. In: U.S. National Library of Medicine, Specialized Information Services 2003. Acetyl acetone. TSCA Test Submissions. Hazardous Substances Data Bank (HSDB).
 16. Bushy Run Research Center. 1986. 2,4-Pentanedione. CHO/HGPRT Gene Mutation Test. EPA Document No. FYI-OTS-0286-0434, Fiche No. OTS0000434-0. In: U.S. National Library of Medicine, Specialized Information Services 2003. Acetyl acetone. TSCA Test Submissions. Hazardous Substances Data Bank (HSDB).
 17. Bushy Run Research Center. 1986. Union Carbide Corp. 2,4-Pentanedione. In Vitro Chromosome Aberration Study with Chinese Hamster Ovary Cells (Confirmatory Test). EPA Document No. 89-8600013, Fiche No. OTS0510542. In: U.S. National Library of Medicine, Specialized Information Services 2003. Acetyl acetone. TSCA Test Submissions. Hazardous Substances Data Bank (HSDB).
 18. Bushy Run Research Center. 1986. Union Carbide Corp. 2,4-Pentanedione. In Vivo

Mouse Micronucleus Study. EPA Document No. 89-87000070, Fiche No. OTS0510542-1. In: U.S. National Library of Medicine, Specialized Information Services 2003. Acetyl acetone. TSCA Test Submissions. Hazardous Substances Data Bank (HSDB).

VII 予見することのできなかつた試験の信頼性に影響を及ぼす疑いのある事態及び試験計画書に従わなかつたこと

予見することのできなかつた試験の信頼性に影響を及ぼす疑いのある事態及び試験計画書に従わなかつたことはなかつた。

なお、被験物質の安定性の測定に使用したガスクロマトグラフ (5890A)、血液学的検査で使用した総合血液学検査装置 (ADVIA 120) 及び尿検査で使用した尿試験紙 (ウロラブスティックス) の製造会社の社名が変更されたため、本報告書はそれぞれ、新社名を記載した。