

U.S.-FDAにおいては、21CFR 184.1061 において、GRAS (GENERALLY RECOGNIZED AS SAFE) 物質(乳児用食品を除く)として掲載されている<sup>34)</sup>。

欧州共同体食品科学委員会(EC-SCF)においては、JECFAにより設定された“ADIを設定する必要はない”に同意するとともに、乳児用の食品に対しては、L-乳酸のみを用いるべきであるとしている<sup>35)</sup>。

国内においては、既に食品添加物<sup>36)</sup>、医薬品製剤原料<sup>37)</sup>としての使用が認められている。

## 急性毒性

ラットを用いた乳酸ナトリウムの腹腔内投与、乳酸の経口投与試験において、LD<sub>50</sub>は2000、3730 mg/kg体重と報告されている。ヒトにおいては、33%乳酸(100ml)の十二指腸内投与で12時間以内に死亡した例がある。また、成人の最大耐量は1530mg/kg体重とする報告がある<sup>33-a), b), c), d)</sup>。

## 亜急性毒性

### (ラット)

(a) ラットを用いた乳酸ナトリウムの14-16日間投与(乳酸として1000, 2000 mg/kg体重) 試験の結果、生体への蓄積は認められなかった<sup>33-b)</sup>。

(b) ラットを用いた乳酸の90日間経口投与(10%乳酸(4ml)を含む飼料(20g)) 試験の結果は以下の通りであった。剖検では異常は見られず、更に臓器重量にも変化は認められなかった。血中のCO<sub>2</sub>濃度が僅かに変化していた<sup>33-a)</sup>。

(c) SDラット(雌)を用いた乳酸の13週間経皮投与(886mg/kg体重) 試験の結果は以下の通りであった。一般所見では、僅かな皮膚の炎症を除き、大きな変化は認められなかった。血液学的検査では、血中尿素窒素の増加が認められた。臓器重量では、脳の絶対重量と腎の相対重量が増加した。剖検および組織学的検査では変化は認められなかった。著者らは、試験に用いた製剤は累積毒性の観点では安全であると結論つけている<sup>33-a)</sup>。

(d) Fischer344 ラット(雌雄各群10匹)を用いた乳酸カルシウムの13週間飲水投与(0.3, 0.6, 1.25, 2.5, 5%)、及び13週間経口投与(飼料中に5, 10, 20, 30%混入)試験の結果は以下の通りであった。一般所見においては、飲水投与、経口投与で異常等は認められなかった。体重増加では、飲水投与の5%及び1.25%投与群の雄で軽度の体重増加抑制が認められ、経口投与の20%投与群の雄及び30%投与群の雌雄で体重増加抑制が認められた。血液生化学的検査では、飲水投与の0.6%以上の投与群で軽度ではあるが、BUN、クレアチニンの増加、GOT,LDHの増加が認められた。病理組織学的検査では、飲水投与の5%投与群の雌雄で幽門部上皮の萎縮、雄で局所的な壊死とびらんが認められた<sup>33-c)</sup>。

### (ハムスター)

シリアンハムスター(各群雌7匹雄8匹)を用いた乳酸の14週間経口投与(混餌、飲水80%乳酸を0.5cc添加)試験の結果、成長速度及びう蝕性傷害の発生率に差異は認められなかった<sup>33-d)</sup>。

### (イヌ)

イヌを用いた乳酸の25ヶ月間(42回)投与(600-1600 mg/kg体重)試験の結果、病状等は認められていない<sup>33-e)</sup>。

#### (乳幼児の事例)

- (a) 新生児40人にDL-乳酸を0.4%含有する市販の食事を与えたが、生後2週間から4週間の体重増加速度に影響は認められなかった<sup>33-f)</sup>。
- (b) 生後3ヶ月の乳児に、牛乳中のカゼインを極微細に凝固させ易消化性にする目的でDL-乳酸含を添加した酸性乳(乳酸濃度:0.4~0.5%)を10日間与えた結果、尿中の酸性度が上昇し、尿pHの低下が観察された。高濃度の牛乳を含む酸性乳(牛乳80%)を摂取した乳児は、その約33%がアシドーシスとなった。臨床的には、体重増加割合の低下、食事摂取量の低下であった<sup>33-g)</sup>。
- (c) 乳児に対し、DL-乳酸を0.35%含有する組成物を10日間与えた結果、投与前と比較し、L-乳酸の尿中排泄が3倍、総乳酸(D-乳酸及びL-乳酸)の排泄が12倍増加していた。食事から乳酸を除いたところ、尿中の乳酸量は正常に回復した。試験に用いた乳酸がL-乳酸(80%)とD-乳酸(20%)の混合物であったことから、乳児でD-乳酸を代謝することはL-乳酸よりも難しいと考えられた。乳酸のいずれかの構造のものが尿中で増加したということは、乳児は食事中に0.35%含有される乳酸を代謝できていないということを示すものである。乳酸を耐受できなかった多くの乳児では、体重の減少、下痢、血中の炭酸塩の減少、尿中への有機酸の増加が生じた。それらの影響は、食事中から乳酸を除くことで回復するものであった<sup>33-h)</sup>。

#### 発がん性

- (a) Fischer344ラット(各群雌5匹雄3~4匹)を用いた乳酸カルシウムの2年間飲水投与(2.5%、5%)試験の結果は以下の通りであった。試験期間中に死亡したラット及び試験後にと殺したラットの剖検、組織学的検査において、乳酸カルシウムの影響は認められず、いかなる臓器、組織においても用量相関のある腫瘍発生は認められなかった<sup>38-e)</sup>。
- (b) ウサギ(雌)を用いた乳酸の5ヶ月及び13ヶ月飲水投与(0.1-0.2 g/kg体重(5ヶ月)、0.1-0.7g/kg体重(13ヶ月))試験の結果、いずれの試験においても腫瘍は認められなかった<sup>38-f)</sup>。

#### 発生毒性/催奇形性

CD-1マウス(12匹)を用いた乳酸の10日間強制経口投与(妊娠期6-15日、570mg/kg体重/日)試験の結果、母体毒性、胎児毒性のいずれも認められなかった<sup>38-g)</sup>。

#### 遺伝毒性

復帰突然変異試験及び染色体異常試験の結果、いずれも陰性であった(表. 11参照)<sup>38-h)</sup>。

表. 11 乳酸の遺伝毒性試験の結果

試験		試験対象	被検物質濃度	結果
in vitro	復帰変異原性試験	<i>Styphimurium</i> (TA97, TA98, TA100, TA104)	0.5, 1.0, 2.0 $\mu$ l 乳酸/plate ( $\pm$ S9 mix)	陰性
	染色体異常試験	チャイニーズハムスター卵巣K1細胞	8-35mM ( $\pm$ S9 mix) 乳酸	陰性

## ②ラクトド

### 急性毒性

(a) Crl:CDBR系ラット(雌雄各5匹)を用い、強制経口投与(5000 mg/kg 体重)による急性毒性試験の結果は以下の通りであった。

観察期間中、2例で死亡が確認された。一般所見として、活動の低下、眼周囲の汚れ、皮膚蒼白、呼吸器音増大、上腹部膨満、軟便が認められた。病理検査では、死亡ラット2例中雄1例に腺胃粘膜に暗褐色領域が多数認められたが、偶発的なものと判断された。他のラットでも、投与に起因する病変等は認められなかった(LD<sub>50</sub>>5000 mg/kg 体重)<sup>39)</sup>。

(b) Hra:SPF系ウサギ(雌雄各5匹)を用い、経皮投与(2000 mg/kg 体重 D-乳酸含量:4-6%)による急性毒性試験の結果は以下の通りであった。観察期間中、死亡例もなく、軽い紅斑及び浮腫並びに軽度の弛緩、落屑が認められた。雌1例で腎皮質表面に嚢胞が認められたが、偶発的なものと判断している。その他、投与に起因する病変等も認められなかった(LD<sub>50</sub>>2000 mg/kg 体重)<sup>40)</sup>。

### 亜急性毒性<sup>41)</sup>

(a) イヌを用いた2週間亜急性毒性試験

ビーグル犬(各群雌雄各2匹)を用いた2週間経口投与(0, 10, 100, 400, 1000, 2500 mg/kg 体重/日, D-乳酸含量:4-6%)試験の結果は以下の通りであった。一般的所見では、2500mg/kg 体重投与群の雌雄で嘔吐、雌で下痢、1000mg/kg 体重投与群の雌雄で嘔吐、100mg/kg 体重投与群の雄1例で下痢が認められた。体重では、2500mg/kg 体重投与群の雌雄、1000mg/kg 体重投与群の雄で投与初日と比較して平均体重が減少していた。臓器重量では、1000mg/kg 体重以上の投与群で胸腺、脾臓の絶対的及び相対的体重の減少が認められている。病理学的検査では、400mg/kg 体重及び2500mg/kg 体重投与群の雌雄で、炎症による重度の傷害(食道、胃、小腸の暗色化、胃潰瘍)や胸腺、脾臓の萎縮、脾臓の暗色化が認められた。組織病理学的検査では、2500mg/kg 体重投与群の雌雄で、胃潰瘍、胃粘膜からの出血、小腸のうっ血、尿細管の変性、胸腺、脾臓の萎縮、雄で胃のびらん、雌で食道のびらん、肝細胞グリコーゲン及び膵腺房細胞のチモーゲン枯渇、1000mg/kg 体重投与群の雄で胸腺、脾臓の萎縮、雌で食道の潰瘍、400mg/kg 体重投与群の雌雄で胃粘膜からの出血、雄で小腸のうっ血が認められている。

その他、血液学的検査、生化学的検査では、投与による影響は認められなかった。

(b) イヌを用いた13週間亜急性毒性試験

ビーグル犬(各群雌雄各4匹)を用いた13週間経口投与(0, 4, 20, 100 mg/kg 体重/日, D-乳酸含量:4-6%)試験の結

果は以下の通りであった。一般的所見、臓器重量、血液学的検査、生化学的検査等では投与による影響は認められなかった。病理学的検査では、100mg/kg 体重投与群の雌雄で胃の病巣が認められた。組織病理学的検査では、100mg/kg 体重投与群で胃粘膜の潰瘍形成が認められている。その他、リンパ節、肝臓での出血、膀胱の病巣等が観察されたが、いずれも偶発的なものと判断されている。

\* 本試験結果に基づくNOAELは、1996年での報告では100mg/kg体重での胃粘膜の潰瘍形成を毒性と見なし、20mg/kg体重/dayとしていたが、同試験結果が1999年にFood and Chemical Toxicology<sup>20)</sup>に掲載された際には、胃粘膜の炎症は、雌雄ともに局所的であり、雌雄各4例中1例と少ないことから、カプセルによる経口投与により、ラクチドと高濃度で接触したことにより生じた所見であると判断し、NOAELを100mg/kg体重/dayとしている。

## 遺伝毒性

*in vitro*での復帰変異原性試験<sup>43)</sup>、前進突然変異試験<sup>44)</sup>、*in vivo*での小核試験<sup>45)</sup>の結果、いずれも陰性であった。試験には、D-乳酸含量が4-6%のラクチドが使用されている(表. 12参照)。

表. 12 ラクチドの遺伝毒性試験の結果

試験		試験対象	被検物質濃度	結果
<i>in vitro</i>	復帰変異原性試験	<i>Styphimurium</i> (TA98,TA100,TA1535,TA1537) <i>E.coli</i> WP2 <i>uvrA</i>	100, 333, 1000, 3300, 5000 µg/plate (±S9 mix)	陰性
	前進突然変異試験	L5178Y TK+/- マウスリンパ腫	1回目:1000, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 µg/mL 2回目: 500, 1000, 2000, 2500, 3000 µg/mL(±S9 mix)	陰性
<i>in vivo</i>	マウス骨髄小核試験	C57BL/6J系マウス(雌雄各群5匹) 投与方法: 単回経口投与 投与媒体: コーン油	837.5, 1675, 3350 <sup>9)</sup> mg/kg	陰性

\* ) 3350mg/kg 投与群の雌で多染性赤血球数と正染性赤血球との比率が溶媒対照群と比較して有意な減少を示したが、ラクチドの細胞毒性によるものと判断されている。

## 局所刺激性

### (a)眼一次刺激性試験<sup>46)</sup>

Hra:SPF系ウサギ(雄1匹)を用い、眼刺激性試験(0.05 g 適用、非洗眼)の結果は以下の通りである。眼障害の評価は Draize 法に準じて実施している。その結果、角膜及び虹彩障害並びに強度の結膜刺激性が認められ、刺激性は適用後21日後にも認められている。

### (b)皮膚一次刺激性試験<sup>47)</sup>

Hra:SPF系ウサギ(雌雄各3匹)を用い、皮膚刺激性試験(0.5 g、4時間接触)の結果は以下の通りである。皮膚刺激性の評価は Draize 法に準じて実施している。その結果、高度の紅斑、中程度の浮腫反応が認められている。更に、皮下出血、白色化、落屑、剥離、壊死の疑いのある部分、癬痕の疑いのある組織も観察されている。観察された刺激は投与後21日後にはほぼ消失したとされている。

## 皮膚感作性<sup>48)</sup>

CrI(HA)BR系モルモット(雄10匹)を用い、皮膚感作性試験(閉塞パッチ法:感作、惹起時に0.2gを貼付)は以下の通りである。感作は週1回6時間閉塞貼付を3回行い、最終感作の2週間後に6時間閉塞貼付により惹起させている。感作、惹起の評価はBuehlerの評点法に準じて実施している。その結果、感作及び惹起を通じて皮膚反応は観察されなかったとされている。

#### 4-2. 製造用添加剤

##### 2-エチルヘキサン酸スズ(2+)塩

2-エチルヘキサン酸スズは胃酸中、摂氏37度10分間以内で100%化学量論的に、Sn(2+)及び2-エチルヘキサン酸に加水分解<sup>49)</sup>されることが報告されていることから、毒性に関しては、それぞれの知見を整理した。

##### ① 2-エチルヘキサン酸

2-エチルヘキサン酸については、米国環境保護庁(US-EPA)<sup>50)</sup>、独連邦リスク評価研究所(BfR)<sup>51)</sup>及びEC-SCF<sup>52)</sup>で評価(分類)が実施されているが、ADIの設定は実施されていない、若しくは、データが不十分で評価ができないとしている。

JECFA<sup>53)</sup>では、2-エチルヘキサン酸の評価は実施していないが、生体内で2-エチルヘキサン酸に代謝される2-エチルヘキサノールについては、ADIとして0.5mg/kg体重/dayを設定している。

##### 代謝・排泄<sup>54)</sup>

Fischer344ラット(雌投与群4匹)に<sup>14</sup>C標識2-エチルヘキサン酸を静脈内投与、単回経口投与及び15日間反復経口投与を実施し、尿中、糞中への回収率を測定した。総投与量に対する回収量の比率は、静脈内投与(1mg/kg)では、尿中が約66%、糞中が約4%、単回経口投与(0.1, 1g/kg)では、尿中が79~82%、糞中が6.7~12.5%、15日間反復経口投与(0.1g/kg:最終日のみ<sup>14</sup>C標識2-エチルヘキサン酸投与)では、尿中が約61%、糞中が約15%であった。

尿中の主な代謝物はグルクロン抱合、チトクロムP-450が関与する酸化及びβ酸化により生成する2-エチルヘキサン酸、2-エチルアジピン酸、2-エチル-5-ヒドロキシヘキサン酸、2-エチル-6-ヒドロキシヘキサン酸、エチルケトヘキサン酸のグルクロン酸抱合体であった。

##### 急性毒性<sup>55)</sup>

ラット(各群4匹)を用いた強制経口投与(0, 90, 722, 1445, 2890mg/kg体重/日)による急性毒性試験の結果は以下の通りであった。2890mg/kg体重投与群では、全てのラットが一日で死亡した。その他の投与群で、投与1日後で体重減少が認められたが、7日後には全て回復していた。生存していたラットの絶対的及び相対的肝臓重量は、対照群と比較して差は認められなかった。LD<sub>50</sub>は、2043mg/kg体重と算出された。

## 亜急性毒性<sup>56)</sup>

(a) B6C3F1 マウス(雌雄各 10 匹)を用いた 90 日間混餌投与(雄 0, 180, 885, 2728mg/kg 体重/日, 雌 0, 205, 1038, 3139 mg/kg 体重/日)試験の結果は以下の通りであった。

一般所見では、雄 2728mg/kg 体重、雌 3139mg/kg 体重投与群で投与 1 週間後に体重及び摂餌量の減少が認められた。臓器重量では、雄 885mg/kg 体重以上、雌 1038mg/kg 体重以上の投与群で肝臓の相対的体重増加が認められた。組織学的検査では、雄 885mg/kg 体重以上、雌 1038mg/kg 体重以上の投与群で肝細胞空胞化、肝細胞肥大が認められた。生化学的検査では、雄 2728mg/kg 体重、及び雌 3139mg/kg 体重以上投与群でコレステロール値の上昇、トリグリセリド値の低下が認められた。いずれの所見も可逆的なものであった。

本試験の NOAEL は、雄 180mg/kg 体重、雌 205mg/kg 体重 とされた。

(b) Fischer344 ラット(雌雄各 10 匹)を用いた 90 日間混餌投与(雄 0, 61, 303, 917mg/kg 体重/day, 雌 0, 71, 360, 1068 mg/kg 体重/day)試験の結果は以下の通りであった。

一般所見では、雄 917mg/kg 体重、雌 1068mg/kg 体重投与群で投与 1 週間後に体重及び摂餌量の減少が認められた。臓器重量では、雄 303mg/kg 体重以上、雌 360mg/kg 体重以上の投与群で肝臓の相対的体重増加が認められた。組織学的検査では、雄 303mg/kg 体重以上、雌 360mg/kg 体重以上の投与群で肝細胞空胞化、肝細胞肥大が認められた。生化学的検査では、対照群も含め全ての投与群でコレステロール値の上昇が認められた。いずれの所見も可逆的なものであった。

本試験の NOAEL は、雄 61mg/kg 体重、雌 71mg/kg 体重 とされた。

## 発がん性

発がん性について、有用な試験報告はない。

しかしながら、齧歯類の肝細胞で peroxisome の増殖が認められたことから、U.S.-EPA<sup>52)</sup>では、発がん性があるかもしれないとし、BFR<sup>51)</sup>では、齧歯類に対する発がん促進作用を有する可能性は排除できないとしながら、齧歯類に対する peroxisome 増殖剤<sup>53)</sup>の発がん作用は、ヒトに対して直接関連するとは考えられないとしている。

EC-SCFでは、2-エチルヘキサ酸を List 6B (データが不十分な物質で、発がん性以外の毒性を有していると疑われる物質)に分類している<sup>52)</sup>。

## 発生毒性<sup>57)</sup>

(a) Fisher344 ラット(25 匹)を用いた強制経口投与(妊娠 6-15 日、0, 100, 250, 500 mg/kg 体重/日)試験の結果は以下の通りであった。

母体毒性としては、500mg/kg 体重投与群で、一般状態の変化として眼内分泌物、眼周辺への付着物が認められ、

<sup>52)</sup> ベルオキシゾーム増殖剤：肝臓の peroxisome を増殖させる化合物。核内レセプターである PPAR $\alpha$  (peroxisome proliferate activated receptor alpha) を介し、生体に多様な反応を惹起する。peroxisome 増殖剤には、変異原性はないが、齧歯類に長期投与すると肝臓に腫瘍が生じる。(トキシコロジー辞典) ベルオキシゾーム増殖剤による肝臓腫瘍形成は、齧歯類が非常に強い感受性を有しているが、他の動物種、特に哺乳類では感受性がないことが報告されている。(T.SUGA. HEPATOCARCINOGENESIS BY PEROXISOME PROLIFERATORS, *The Journal of Toxicological Sciences*, 29, 1, 1, 2004.)

肝の絶対重量及び相対重量の増加が認められた。

胎児毒性としては、500mg/kg 体重投与群で、胎仔(児)体重の減少、成長遅延(化骨遅延)、骨格異常が認められた。化骨遅延が 250mg/kg 体重投与群でも認められた。

本試験の NOAEL は、母体毒性として 250mg/kg 体重、胎児毒性として 100mg/kg 体重とされた。

(b) New Zealand 白色ウサギ(15羽)を用いた強制経口投与(妊娠 6-18日、0, 25, 125, 250 mg/kg 体重/日)試験の結果は以下の通りであった。

母体毒性としては、250mg/kg 体重 投与群で死亡、体重増加の抑制、摂餌量減少、125mg/kg 体重 投与群で死亡、流産が認められた。催奇形性を含む胎児毒性は認められなかった。

本試験の NOAEL は、母体毒性として 25mg/kg 体重、胎児毒性として 250mg/kg 体重 以上とされた。

### 遺伝毒性<sup>58)</sup>

*in vitro* での復帰変異原性試験、染色体異常試験、*in vivo* での遺伝子突然変異試験の結果、いずれも陰性であった(表 13参照)。

表 13 2-エチルヘキサン酸の遺伝毒性試験の結果

試験		試験対象	被検物質濃度	結果
<i>in vitro</i>	復帰変異原性試験	<i>Styphimurium</i> (TA97,TA98,TA100,TA104) WP2uvrA <sup>-</sup>	(±S9 mix) 0, 50, 150, 500, 1500, 5000 µg/plate	陰性
	染色体異常試験	Rat lymphocyte	(±S9 mix) 0.5, 1.7, 5.0, 16.7, 50, 167, 500, 1667, 5000 µg/ml	陰性
<i>in vivo</i>	遺伝子突然変異試験	リンパ腫細胞(マウス)	0, 1.7, 5, 17, 50, 167, 500, 1000, 1500 µg/ml	陰性

### ② スズ (Sn<sup>2+</sup>, Sn<sup>4+</sup>)

無機スズについては、JECFAでの評価が実施されており、ヒトに対する有害作用の知見を基に、暫定耐容一週間摂取量(PTWI)として14mg/kg体重<sup>h)</sup>が設定されている<sup>59)</sup>。

また、国内においては、清涼飲料水の成分規格<sup>3)</sup>でスズの含有量は 150.0 ppm を超えるものであってはならないとされている。

### 5. 食品健康影響評価について

器具又は容器包装材料の食品健康影響評価は、ヒトが器具又は容器包装から食品を介して摂取する可能性のある物質が製造用原材料(モノマー)、触媒、ポリ乳酸の分解物等であることを考慮する必要がある。

今回、ポリ乳酸から溶出する物質が、乳酸及びラクチドであること、また触媒である 2-エチルヘキサン酸スズがポリ乳酸の製造に一般的に使用されていることに着目し、それぞれについて一日摂取許容量の設定、及び樹脂からの溶出を考慮した食品健康影響評価を検討した。

<sup>h)</sup>第26回JECFAにおいて、慢性暴露によるヒトへの毒性効果を示唆するデータは得られていないものの、胃炎のような急性毒性がスズの問題点であることから、ヒトでの所見を基に、胃炎に対する閾値濃度として約200 mg/kg Food と推定し、PTDIとして 2 mg/kg 体重/日 を設定した。その後、第33回JECFAにおいて、PTWIとして 14 mg/kg 体重/週 に変更された。(この数値は、慢性暴露にも適用可能であることを強調している)

### 5-1. 乳酸(脱水縮合物も含む)について

乳酸の毒性試験の結果からは、懸念するような毒性所見が認められていないこと、ヒトにおける通常の摂取後の代謝経路は十分に確立されており、乳酸は炭水化物の代謝の重要な中間体であるということ、及び生後3ヶ月の乳児では、少量のDL-乳酸又はD-乳酸を利用することが困難であるといういくつかの根拠が示されている。

これらのことから、乳酸のADIは設定する必要はないが、乳児用の食品にD-乳酸、DL-乳酸を使用することについては、考慮が必要と考えられる。

器具又は容器包装の原材料として使用された場合の乳酸の食品健康影響評価としては、懸念される健康影響は想定されず、また乳児への影響に関しても、ポリ乳酸から溶出する乳酸量を考慮した場合、容器包装からのD-乳酸の溶出による乳児への健康影響は極めて小さいものと考えられる<sup>i</sup>。

### 5-2. ラクチドについて

ラクチドのADIは、イヌの13週間亜急性毒性試験のNOAEL 100mg/kg 体重/日 に種差10、個体差10及び短期の毒性試験のNOAELということで10を加味した安全係数1000を用いて、0.1mg/kg 体重/日 と設定されると考えられる。

器具又は容器包装の原材料として使用された場合のラクチドの食品健康影響評価としては、容器包装からのラクチドの溶出量を考慮した場合、毒性評価から設定されるADIを超過する可能性は否定できないことから、健康影響を考慮する必要があると考えられる<sup>j</sup>。

### 5-3. 触媒について

2-エチルヘキサン酸スズについては、2-エチルヘキサン酸とスズ(2+)について、それぞれ考察を行った。

2-エチルヘキサン酸は、生体内でβ-酸化を受け、最終的に脂肪酸代謝系に取り込まれ、生体内で生成した分枝脂肪酸と同様の代謝を受ける物質であり、現時点ではウサギの発生毒性試験で認められた母体毒性に対するNOAEL 25mg/kg 体重/日 が最大無毒性量であると判断されるが、情報が不足していることから、ADIの設定には至らないものと考えられる。

しかし、器具又は容器包装の触媒構成成分として使用された場合の2-エチルヘキサン酸の食品健康影響評価と

<sup>i</sup> 乳児用の容器への使用を想定し次のとおり考察した。容器からの乳酸摂取量に関しては、乳児用容器の使用形態、内容物を考慮し、表4で高D体脂肪からの3%酢酸への乳酸溶出量15 µg/mlを用い、児の一日当たりの食事量を1000 ml (小児科学 白木和夫 監修 医学書院 2002:母乳量750ml)とした場合、1.5mg/dayと算出される。児の血液量450 ml (児の体重を6000g、血液量は体重の7~8%程度と想定)とし、摂取した乳酸が100%血中に移行すると仮定した場合、容器から溶出した乳酸を摂取したことによる血中の乳酸濃度の増加分は0.0033 mg/ml程度であると考えられる。この値を新生児の血清中の乳酸濃度0.03~0.3 mg/ml(生化学データブックI, (社)日本生化学会 1979)に上乗せした場合においても、Luftら(Am J Clin Pathol, 80, 484, 1983: 5 mmol)により報告されている乳酸アシドーシス時の血中乳酸濃度0.45 mg/mlを上回るものではなく、容器から溶出した乳酸量程度では、乳児に乳酸アシドーシスが生じる可能性はないと考えられる。

<sup>j</sup> EUの考え方(1日あたり、体重60kgのヒトが容器包装と接触した食品1kgを摂取する。その食品は6dm<sup>2</sup>/kgの割合で容器包装と接触している)を用い、溶出量を9.9 mg/dm<sup>2</sup>(表4の最大溶出量を全てラクチドとし、溶出条件を2ml/cm<sup>2</sup>として概算)とした場合、1日当たりの摂取量は0.99mg/kg体重/dayと算出される。

一方、FDAの考え方(消費係数、食品分配係数を用い、成人(60kg)が1日に摂取する容器包装で包装された食品重量を3g(ヒト/日とみなす)を用い、表4の沸騰水滅菌処理を考慮した条件での各疑似溶媒への溶出量から、1日当たりの摂取量は0.051 mg/kg 体重/dayと算出される。

EUの考え方では、動物実験の結果から設定されたADI 0.1mg/kg 体重/日を上回り、FDAの考え方では、ADIを下回る。



しては、容器包装からの 2-エチルヘキサン酸の溶出量を考慮した場合、触媒としての添加量が微量であること、溶出試験において溶出が認められなかった(検出限界以下)ことから、容器包装からの 2-エチルヘキサン酸の溶出によるヒトへの健康影響は極めて小さいものと考えられる<sup>k</sup>。

無機スズについては、JECFAにおいて、長期暴露による毒性影響は肝臓、腎臓等の組織学的変化、貧血を示唆する血液学的パラメータの変化が認められ、更に急性毒性は胃腸管粘膜の炎症による嘔吐、下痢であることが報告されているが、用量相関性、摂取する媒体のスズの毒性への影響が不明確であることから、現時点では、ヒトに対する有害作用の知見を基に考察された、「暫定耐容一週間摂取量(PTWI) 14 mg/kg 体重/週」が設定されている。

しかし、器具又は容器包装の触媒構成成分として使用された場合の無機スズの食品健康影響評価としては、この JECFA の評価、さらに、触媒としての添加量が微量であること、及び溶出試験で溶出がみとめられなかったこと(検出限界以下)から、容器包装からの無機スズの溶出によるヒトへの健康影響は極めて小さいものと考えられる<sup>l</sup>。

#### 5-4. その他

ポリ乳酸は、本質的に加水分解及び生分解される物質であり、食品擬似溶媒を用いた試験の結果、使用される条件によっては著しい分子量の低下や外観変化が認められている。また、アルブミン又は $\gamma$ -グロブリンの存在下では、分解速度が加速するという報告もある。また、溶出試験結果から、高 D 体 ( $\leq 16\%$ ) ポリ乳酸に関しては、低 D 体 ( $\leq 6\%$ ) ポリ乳酸以上に分解、溶出する傾向が示唆されている。また、添加剤については n-ヘプタン(脂肪性食品を想定)を用いた 90°C、30 分間という過酷な溶出試験でわずかに溶出が認められているが、含水系溶媒の条件では、認められていない。

#### 5-5. 結論

ポリ乳酸を主成分とする合成樹脂製の器具又は容器包装に関する食品健康影響評価を行った結果、ポリ乳酸を器具又は容器包装として使用する場合に考慮すべき物質、及びその ADI として、以下の結論が考えられた。

ラクチド 0.1 mg/kg 体重 / 日

ただし、D-乳酸の含有率、添加剤等の組成及び使用条件で溶出性、分解性が大きく変化する可能性があることか

<sup>k</sup> EU の考え方(1日あたり、体重 60kg のヒトが容器包装と接触した食品 1kg を摂食する。その食品は 6dm<sup>2</sup>/kg の割合で容器包装と接触している)を用い、溶出量を 0.01 mg/dm<sup>2</sup> (溶出試験では、全ての条件で不検出だったことから、表 4 の検出限界値 0.05  $\mu$ g/m<sup>2</sup> を溶出値として代用し、溶出条件を 2ml/cm<sup>2</sup> として概算)とした場合、2-エチルヘキサン酸が溶出試験の検出限界程度(0.05  $\mu$ g/m<sup>2</sup>)溶出した場合においても、1日当たりの摂取量は 0.001mg/kg 体重/日 と算出される。

一方、FDA の考え方(消費係数、食品分配係数を用い、成人(60kg)が 1日に摂取する容器包装で包装された食品重量を 3g/ヒト/日とみなす)を用い、各擬似溶媒への溶出量を検出限界値 0.05  $\mu$ g/m<sup>2</sup>とした場合、1日当たりの摂取量は 0.000125 mg/kg 体重/日 と算出される。これらの算出値は、実験動物で認められた最小の NOAEL 25mg/kg 体重/日 よりも大幅に小さいものである。

<sup>l</sup> EU の考え方(1日あたり、体重 60kg のヒトが容器包装と接触した食品 1kg を摂食する。その食品は 6dm<sup>2</sup>/kg の割合で容器包装と接触している)を用い、溶出量を 0.002 mg/dm<sup>2</sup> (溶出試験では、全ての条件で不検出だったことから、表 5 の検出限界値 0.01  $\mu$ g/m<sup>2</sup> を溶出値として代用し、溶出条件を 2ml/cm<sup>2</sup> として概算)とした場合、スズが溶出試験の検出限界程度(0.01  $\mu$ g/m<sup>2</sup>)溶出した場合においても、1日当たりの摂取量は 0.0002mg/kg 体重/日 と算出される。

一方、FDA の考え方(消費係数、食品分配係数を用い、成人(60kg)が 1日に摂取する容器包装で包装された食品重量を 3g/ヒト/日とみなす)を用い、各擬似溶媒への溶出量を検出限界値 0.01  $\mu$ g/m<sup>2</sup>とした場合、1日当たりの摂取量は 0.025  $\mu$ g/kg 体重/日 と算出される。これらの算出値は、JECFA が報告している PTWI 14mg/kg 体重/週 1日当たり 2mg/kg 体重相当よりも大幅に小さいものである。

ら、適切な管理措置の設定が必要である。

## 6. 参考資料

- 1) European Communities (2002) COMMISSION DIRECTIVE 2002/72/EC
- 2) 食品衛生研究会 (2004) 平成 17 年版食品衛生小六法, 新日本法規出版発行, p.688.
- 3) J. Kymä (2001) *ACTA POLYTECHNICA SCANDINAVICA, CHEMICAL TECHNOLOGY SERIES* No.282
- 4) Kamikura M. *et al.* (2004) The Improvement of Toughness for Poly(lactic acid), *DIC Technical Review*, 10, 1.
- 5) 食品安全委員会申請資料(未公表) 食品容器としての機能試験
- 6) MKiremtçi, *et al.* (1999) Synthesis, Characterization and in Vitro Degradation of Poly(DL-Lactide)/Poly(DL-Lactide-co-Glycolide) Films, *Turk J Chem*, 23, 153.
- 7) Makino K, *et al.* (1987) Effects of Plasma Proteins on Degradation Properties of Poly(L-lactide) Microcapsules, *Pharm Res*, 4, 62.
- 8) LPeltonen, *et al.* (2004) Improved Entrapment Efficiency of Hydrophilic Drug Substance During Nanoprecipitation of Poly(lactide) Nanoparticles, *AAPS PharmSciTech*, 5, 1.
- 9) 食品安全委員会申請資料(未公表) ラクチドの加水分解の動態報告書
- 10) 食品安全委員会申請資料(未公表) Hydrolysis Study on DABCO T-9
- 11) 食品安全委員会申請資料(未公表) ポリ乳酸概要書
- 12) Jukka Tuominen, (2003) CHAIN LINKED LACTIC ACID POLYMERS: POLYMERIZATION AND BIODEGRADATION STUDIES, Polymer Technology Publication Series, No.25,
- 13) K.M.Stridsberg, *et al.* (2002) Controlled Ring-Opening Polymerization: Polymers with designed Macromolecular Architecture, *Advances in Polymer Science*, 157, 41.
- 14) 食品安全委員会申請資料(未公表) Migration of Lactic Acid from Crystalline Polylactic Acid into Various Food Simulating Solvents.
- 15) 食品安全委員会申請資料(未公表) Migration of Lactic Acid from PLA into Various Food Simulating Solvents Using Conditions of Use C.
- 16) 食品安全委員会申請資料(未公表) ポリ乳酸溶出試験(溶出物確認)
- 17) 食品安全委員会申請資料(未公表) ポリ乳酸/溶出物プロファイル解析
- 18) 食品安全委員会申請資料(未公表) 2-エチルヘキサン酸スズ(2+)の溶出試験
- 19) 食品安全委員会申請資料(未公表) トヨタ製 PLA 添加剤溶出試験方法及び分析試験成績書
- 20) 食品安全委員会申請資料(未公表) 厚生省告示370号試験(100°Cを超える使用)
- 21) 食品安全委員会申請資料(未公表) 厚生省告示370号試験
- 22) 食品安全委員会申請資料(未公表) 厚生省告示370号溶出試験結果
- 23) O.MBöstman, *et al.* (1991) Current Concepts Review Absorbable Implants for the Fixation of Fractures, *J. Bone and Joint Surg*, 73, 148.
- 24) Ikeda Y.*et al.* (2000) Biodegradable polyesters for medical and ecological applications, *Macromol Rapid Commun*, 21, 117.
- 25) 食品安全委員会申請資料(未公表) ラクティ 1012 CSL-50926 のラットにおける急性経口毒性試験
- 26) 食品安全委員会申請資料(未公表) FINAL REPORT Acute Oral Toxicity Study of PolyLactide 2097-99-1 in Rats
- 27) 食品安全委員会申請資料(未公表) FINAL REPORT Acute Dermal Toxicity Study of PolyLactide 2097-99-1 in Rabbits
- 28) 食品安全委員会申請資料(未公表) ポリ-L-乳酸の細菌を用いる復帰突然変異試験
- 29) 食品安全委員会申請資料(未公表) ポリ-L-乳酸の培地抽出液を用いる細胞毒性試験
- 30) 食品安全委員会申請資料(未公表) FINAL REPORT Primary Eye Irritation Study of PolyLactide 2097-99-1 in Rabbits
- 31) 食品安全委員会申請資料(未公表) FINAL REPORT Primary Dermal Irritation Study of PolyLactide 2097-99-1 in Rabbits
- 32) 食品安全委員会申請資料(未公表) FINAL REPORT Dermal Sensitization Study of PolyLactide 2097-99-1 in Guinea Pigs
- 33) World Health Organization (1974) FOOD ADDITIVES SERIES 5, (LACTIC ACID AND ITS AMMONIUM, CALCIUM, POTASSIUM AND SODIUM SALTS)
  - a) H.F.Smyth, jr. *et al.* (1941) SOME PHARMACOLOGICAL PROPERTIES OF THE "TERGITOL" PENETRANTS, *J. Ind. Hyg Toxicol*, 23, 478.
  - b) O Fürth, *et al.* (1930) Über die Assimilierbarkeit und Toxizität racemischer Milchsäure, *Biochem. Z.*, 228, 381.
  - c) E.Leschke, (1932) Fortschritte in der Erkennung und Behandlung der wichtigsten Vergiftungen, *Münch. Med. Wschr.*, 79, 1481.
  - d) G.Nazario (1951) AGENTES ACIDULANTES UTILIZADOS EM ALIMENTOS, *Rev. Inst. Adolfo Lutz*, 11, 141.
  - e) E.S Faust, (1910) Über die Verwendbarkeit der Milchsäure als Bestandteil von Genußmittel, *Cothener Chem. Z.*, 34, 57.
  - f) H.M. Jacobs, *et al.* (1957) Observations on Full-Term Newborn Infants Receiving an Acidified Milk Formula, *Lancet*, 71, 157.
- g) W. Droese, *et al.* (1962) Funktionelle Prüfungen von Säuglingsnahrungen, dargestellt an der Säuremilchnahrung junger Säuglinge *Dtsch. Med. J.*, 13, 107h) W. Droese, *et al.* (1964) Die Wirkung von Milchsäure(D/L), Citronensäure und Protein auf die organischen

- Säuren im Harn vorgesunden Säuglingen im I. Lebensvierteljahr, *Symp. über die Ernährung der Frühgeborenen, Bad Schachen*, Mai, 63
- 34) U.S. Food and Drug Administration (2003) Code of Federal Regulations, title 21, Vol. 3, sec.184. 1061 Lactic acid
- 35) European Communities (1990) Reports of the Scientific Committee for Food (Twenty-fifth series). First series of food additives of various technological functions
- 36) 厚生省 (1999) 第7版食品添加物公定書, 日本添加物協会発行 p 372,
- 37) 石橋無味雄, 他 (2001) 第十四改正日本薬局方 第二部医薬品各条, 廣川書店刊行 D-848 2001.
- 38) U.S. Environmental Protection Agency (2003) HPV Data Set LACTIC ACID CAS#50-21-5 Dossier number 50215 Version 2
- a) *International Journal of Toxicology*, 17, 83, 1998
  - b) *International Journal of Toxicology*, 17, 96, 1998
  - c). Matsushima Y. *et al.*(1989) Subchronic Oral toxicity study of Calcium lactate in F311 rats, *Eisei Shikenjo Hokoku*, 107, 78.
  - d) Granados H. *et al.* (1949) Observations on experimental dental caries III: the effect of dietary lactic acid *J. Dental res.*, 28, 282.
  - e) Maekawa A, *et al.*(1991) Long-term Toxicity/Carcinogenicity study of Calcium lactate in F344 rats, *Food Chem. Toxic.*, 29, 589.
  - f) *International Journal of Toxicology*, 17, 129, 1998
  - g) M.T.Colomina, *et al.*(1992) Concurrent Ingestion of Lactate and Aluminum can Result in Developmental Toxicity in Mice, *Res. Commun. Chem. Pathol.*, 71, 95.
  - h) Al-Ani F.Y.,*et al.* (1988) Absence of mutagenic activity of acidity regulators in the Ames Salmonella/microsome test, *Mutation research*, 206.
  - i) Morita T., *et al.*(1990) Evaluation of clastogenicity of formic acid, acetic acid and lactic acid on cultured mammalian cells, *Mutation research*, 240, 195.
- 39) 食品安全委員会申請資料(未公表) FINAL REPORT Acute Oral Toxicity Study of Lactide 2097-99-2 in Rats
- 40) 食品安全委員会申請資料(未公表) FINAL REPORT Acute Dermal Toxicity Study of Lactide 2097-99-2 in Rabbits
- 41) 食品安全委員会申請資料(未公表) 13-Week Toxicity Study of Lactide in Dogs
- 42) C.D. Hebert, *et al.* (1999) Toxicity of Lactide in Dogs After 2 and 13 Weeks of Daily Oral Dosing, *Food and Chemical Toxicology*, 37, 335.
- 43) 食品安全委員会申請資料(未公表) MUTAGENICITY TEST WITH LACTIDE IN THE SALMONELLA-ESCHERICHIA COLI/MAMMALIAN-MICROSOME REVERSE MUTATION ASSAY WITH A CONFIRMATORY ASSAY FINAL REPORT
- 44) 食品安全委員会申請資料(未公表) MUTAGENICITY TEST ON LACTIDE IN THE L5178Y TK+/- MOUSE LYMPHOMA FORWARD MUTATION ASSAY WITH A CONFIRMATORY ASSAY FINAL REPORT
- 45) 食品安全委員会申請資料(未公表) Mutagenicity Test on Lactide in an In Vivo Mouse Micronucleus Assay FINAL REPORT
- 46) 食品安全委員会申請資料(未公表) FINAL REPORT Primary Eye Irritation Study of Lactide 2097-99-2 in Rabbit
- 47) 食品安全委員会申請資料(未公表) FINAL REPORT Primary Dermal Irritation Study of Lactide 2097-99-2 in Rabbit
- 48) 食品安全委員会申請資料(未公表) FINAL REPORT Dermal Sensitization Study of Lactide 2097-99-2 in Guinea Pigs-Closed Path Technique)
- 49) 食品安全委員会申請資料(未公表) Hydrolysis Study on DABCO T-9
- 50) U.S. Environmental Protection Agency (1986) , Federal Register Vol. 51, No. 215. p.40318
- 51) Bundesinstitut für Risikobewertung (2004) 2-Ethylhexanoic acid in baby food and fruit juices packed in glass containers,
- 52) European Commission-Scientific Committee for Food (2003) "SYNOPTIC DOCUMENT"
- 53) World Health Organization( 1993) FOOD ADDITIVES SERIES 32 2-ETHYL-1-HEXANOL
- 54) J.C. English, *et al.* (1998) Metabolism of 2-Ethylhexanoic Acid Administered Orally or dermally to the female Fischer 344 rat, *XENOBIOTICA*, 28(7), 699.
- 55) U.S.Environmental Protection Agency, Chemical Information Collection and Data Development(Testing), 2-Ethylhexanoic Acid(EHA) Test Results (HP : <http://www.epa.gov/opptintr/chemtest/ethylhec.htm>)
- 56) Juberg DR, *et al.* (1998) 2-Ethylhexanoic Acid : Subchronic Oral Toxicity Studies in the Rat and Mouse, *Food Chem Toxicol.*, 36, 429
- 57) A.G.Hendrickx,*et al.* (1993) Assesment of the Developmental Toxicity of 2-Ethylhexanoic Acid in Rats and Rabbits, *Fundam Appl Toxicol.*, 20, 199.58) 食品安全委員会申請資料(未公表) 2-エチルヘキサン酸の毒性評価
- 59) World Health Organization,(2000) FOOD ADDITIVES SERIES 46, TIN (addendum)