

## ボタン電池等に関する事故再現実験結果

## 【ボタン電池等の誤飲による体内の被害状況の再現】

- 未使用ボタン電池では、コイン形リチウム電池は実験開始直後から、その他のボタン電池は開始 10 分後から化学反応が発生。2 時間経過後には、いずれのボタン電池等も激しい「びらん」が確認された。
- コイン形リチウム電池など、電圧の高い電池ほど反応が早く、「びらん」も深い。
- ライトが付かなくなり、交換が必要と考えられる使用後電池は、反応が遅くなるが、2 時間経過後には「びらん」が生じ、危険性が確認された。

## 【子供がボタン電池等使用製品を扱う際の力の測定】

- 縦長（棒状）の製品の場合、振り方によって子供の手の動き以上に大きな加速度が発生し、家具や壁などの物体に衝突した際に大きな衝撃力を発生する可能性が確認された。
- 落下試験によって電池室の強度を確認する場合は、落下条件や製品の形状・構造によって、得られる加速度にバラつきがあることから、落下試験のみによる評価で十分であるかや、加速度のバラつきが生じる要因を考慮した上で、試験回数や落下条件などの試験手順を決めるといった検討をするなど、十分な留意が必要であることがわかった。

## 【パッケージの安全対策の確認】

- 今回の実験で、2 歳以上の子供では、いずれかの種類のパッケージを開封し、3 歳の子供では 6 人中 2 人が全てのパッケージを開封した。
- パッケージ全体を折り曲げた時の音に興味を持ち折り曲げ続ける、店頭で販売する際に引っ掛けるフック状の部分をねじる、強引に引っ張るなど、想定していない方法で開ける子供が多い。また、開ける様子を見たことがない子供でも、パッケージを開けられたことから、パッケージを開ける動作を子供に見せないといった注意だけでは、事故を防ぐことはできないことがわかった。

※ 「びらん」：ただれること

国内外の事故事例等を踏まえ、子供のボタン電池等に関する事故発生状況の再現実験を行い、問題点と課題を分析した。

- ・ 調査日時：2015年8月24日～10月15日
- ・ 調査場所：国立研究開発法人産業技術総合研究所
- ・ 調査項目：
  1. ボタン電池等の誤飲による体内の被害状況の再現
  2. 子供がボタン電池等使用製品を扱う際の力の測定
  3. コイン形リチウム電池のパッケージの安全対策の確認

## 1. ボタン電池等の誤飲による体内の被害状況の再現

### (1) 実験方法

生理食塩水に1日間浸漬した鶏肉片及びハムにボタン電池等を接触させ、接触部分の経時変化を観察した。観察終了後、鶏肉表面の水素イオン濃度（pH値）を測定器で測定した。ハムについては「びらん」による孔のあき具合を観察した。

### (2) 実験条件

- ボタン電池等

ボタン電池の種類	公称電圧	参考画像
コイン形リチウム電池 CR2032	3.0V	
アルカリ電池 LR44	1.5V	
酸化銀電池 SR1130	1.55V	
空気亜鉛電池 PR48	1.4V	

それぞれ未使用の電池で実験を実施した。コイン形リチウム電池とアルカリ電池では使用後の電池についても実験を実施した。

- 鶏肉
  - ・ 生理食塩水に一日間浸漬したもの

### (3) 実験結果

ハムを使った実験も行ったが、「びらん」を生じる様子が鶏肉の場合よりも確認しづらかったため、本資料では、鶏肉で行った実験の結果のみを示す。

参考に、未使用のコイン形リチウム電池 CR2032 について、ハムと鶏肉の実験結果のうち、2 時間経過後の様子を以下に示す。

【参考】未使用コイン形リチウム電池 CR2032 の 2 時間経過後の様子

ハムでの実験結果	鶏肉での実験結果
	

## ア. 未使用電池

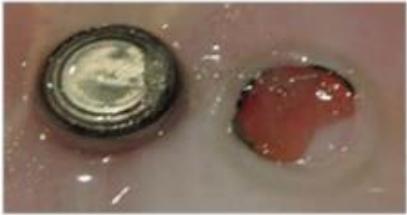
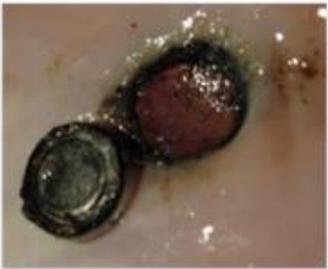
4種類の電池について、それぞれ、2種の異なるメーカーの未使用ボタン電池で実験を行った。結果は以下の通りである。

### (7) アルカリ電池 LR44 (1.5V)

時間	LR44 (①)	LR44 (②)
開始直後		
10分後		
30分後		
2時間後	pH13.2 	pH13.8 

実験開始直後では、特段の変化は見られない。10分後の時点では、化学反応によって生じたと思われる泡が電池の周囲に見られた。20分後の時点では、明らかに化学反応が起きていることが分かるほど、泡が生じ、金属の腐食による黒色の化合物も生成されていた。30分後の時点では、明らかに「びらん」と認められるほど、鶏肉の表面が溶けていた。2時間後の時点では、さらに多くのアルカリ性溶液と金属の腐食による黒色の化合物が生成されており、鶏肉もより深く「びらん」を生じていた。

(4) 酸化銀電池 SR1130 (1.55V)

時間	SR1130 (①)	SR1130 (②)
開始直後		
10 分後		
30 分後		
2 時間後	pH15.0 以上 	pH15.0 以上 

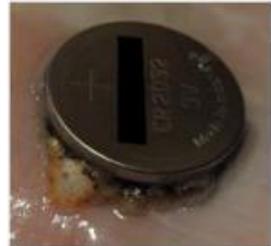
実験開始直後では、特段の変化は見られない。10 分後の時点では、化学反応によって生じたと思われる泡が電池の周囲に見られた。20 分後の時点では、やや黒味がかった泡が生じ始め、明らかに化学反応が起きている様子が見られた。30 分後の時点では、明らかに「びらん」と認められるほど、鶏肉の表面が溶けていた。2 時間後の時点では、さらに多くのアルカリ性溶液と金属の腐食による黒色の化合物が生成されており、鶏肉もより深く「びらん」を生じていた。

(ウ) 空気亜鉛電池 PR48 (1.4V)

時間	PR48 (①)	PR48 (②)
開始直後		
10 分後		
30 分後		
2 時間後	pH14.5 	pH15.0 以上 

実験開始直後では、特段の変化は見られない。10 分後の時点では、化学反応によって生じた泡が電池の周囲に見られた。20 分後の時点では、泡とともに、金属の腐食による黒色の化合物も生成されていた。30 分後の時点では、明らかに「びらん」と認められるほど、鶏肉の表面が溶けていた。2 時間後の時点では、さらに多くのアルカリ性溶液と金属の腐食による黒色の化合物が生成されており、鶏肉もより深く「びらん」を生じていた。

(I) コイン形リチウム電池 CR2032 (3.0V)

時間	CR2032 (①)	CR2032 (②)
開始直後		
10 分後		
30 分後		
2 時間後	pH14.7 	pH15.0 以上 

電池を鶏肉の上に置いた直後から化学反応が始まり、泡が電池の周囲に見られた。10 分後の時点では、既に鶏肉表面が溶け始めており、電池の金属の腐食も起きており、黒色の化合物が電池の周囲に生成されていた。30 分後の時点では、アルカリ性溶液も金属の腐食による黒色の化合物もより多く生成されており、電池が接触していた部分は周囲よりも 2 ミリ程度へこんでいる状態であった。2 時間後にはさらに反応が進み、アルカリ性溶液も黒色の化合物がさらに多く生成されていた。

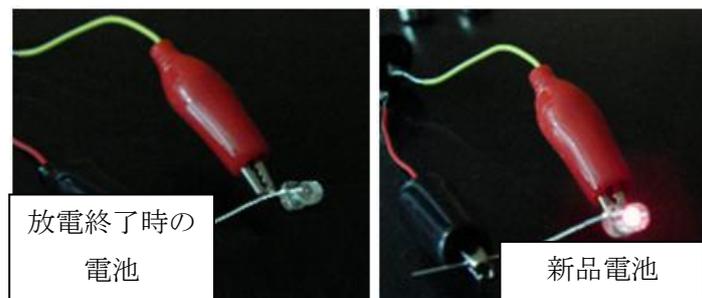
## イ. 使用後電池

各電池に抵抗をつなぐことで放電し、使用後の電池を作製した。また、電池には放電によって一度電圧が下がった後、放置を行うと時間経過とともに電圧が上昇する性質がある。

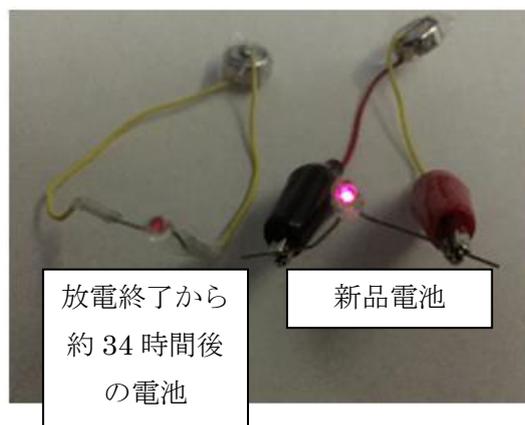
今回は、放電終了後から1日以上経過し、電圧が安定した状態となった電池を用いて実験を行った。以下に、放電終了直後の電圧とそのときのライトの光り方、放電終了後から実験開始までの経過時間、実験開始直前の電圧とそのときのライトの光り方を示す。

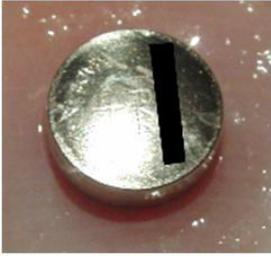
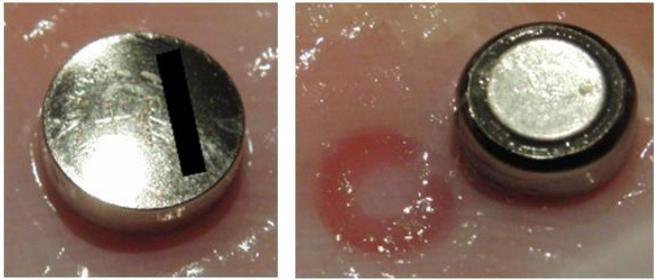
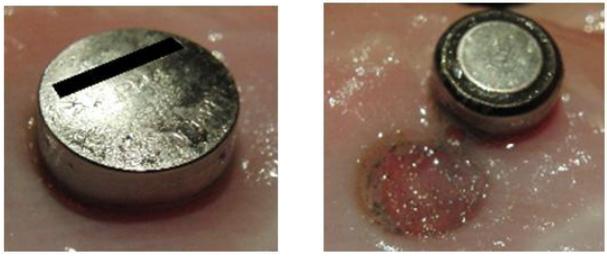
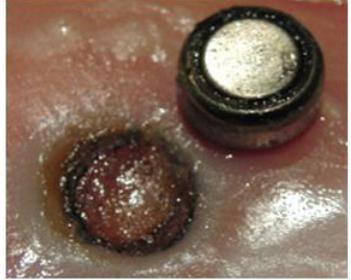
### (7) アルカリ電池 LR44 (1.5V)

1.5 k  $\Omega$  での抵抗で 110 時間の放電を行った（放電の平均電流は約 1.0mA）。放電終了時の電圧は、1.280V（CCV：閉回路電圧）であった。また、放電中の測定電圧より消費電気容量を算出すると、100.9mAh であった。使用した LR44 の公称容量は 120mAh であるので、残余容量は約 16%と推計される。



放電終了から約 34 時間後の電圧（OCV：開回路電圧）：1.349V



時間	アルカリ電池 (LR44) 放電終了から約 34 時間後の電池
開始直後	
10 分後	
30 分後	
2 時間後	<p data-bbox="774 1243 933 1276">pH15.0 以上</p> 

実験開始直後は、特段の変化はみられない。10 分後の時点では、化学反応が起きていることを確認できる泡などは見られなかったが、電池を移動させると接触していた鶏肉の表面がやや溶け始めていることが確認できた。30 分後の時点でも、泡などはあまり確認できなかったが、電池を移動させるとアルカリ性の溶液が生成され、「びらん」も明らかに進行しており、鶏肉の表面が溶けていた。2 時間後では、電池周囲の鶏肉の色も変化しており、電池を移動させると金属の腐食による黒色の化合物が生成されており、30 分後の時点と比べて明らかに「びらん」が進行していた。

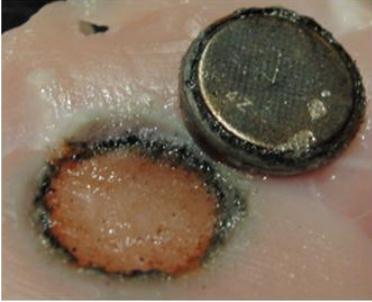
(イ) コイン形リチウム電池 CR2032 (3.0V)

1.5 k  $\Omega$  での抵抗で 117 時間の放電を行った(放電の平均電流は約 1.8mA)。放電終了時の電圧は、2.135V (CCV) であった。また、放電中の測定電圧より消費電気容量を算出したところ、207.3mAh であった。使用した CR2032 の公称容量は 220mAh であるので、残余容量は約 6%と推計される。



放電終了から約 26 時間後の電圧 (OCV) : 2.741V



時間	コイン形リチウム (CR2032) 放電終了から約 26 時間後の電池
開始直後	
10 分後	
30 分後	
2 時間後	<p data-bbox="730 1234 863 1263" style="text-align: center;">pH15.0 以上</p> 

実験開始直後は、特段の変化はみられない。10 分後の時点では、化学反応が起きていることが確認できる泡が電池周囲に見られた。また、電池を移動させると接触していた鶏肉の表面が全体的に溶け始めていた。微量ではあるものの、金属の腐食による黒色の化合物も確認できた。30 分後の時点では、10 分後の時点よりも多くの泡が確認でき、電池を移動させるとアルカリ性の溶液も多く生成されており、「びらん」も明らかに進行しており、鶏肉のより深い組織が見えた。2 時間後では、30 分後の時点よりもさらに多くの金属の腐食による黒色の化合物が生成されており、「びらん」も明らかに進行していた。

## 2. 子供がボタン電池等使用製品を扱う際の力の測定

### (1) 実験方法

ワイヤレス加速度計を内蔵した測定装置を子供たちに持たせ、空中で振る動作を行ってもらった。その際、子供の振りおろす力によって、画面の野菜が切れるといったゲーム的要素を取り込むことで、子供が興味を持って実験に参加できるよう工夫を行った。

計測した空中で振り下ろした際の計測値から、特に加速度が高い年齢群について、同じ計測装置を使って、机に打ち付けた際の加速度を計測した。また、計測した加速度と同程度の加速度が発生する落下試験の高さを推定した。

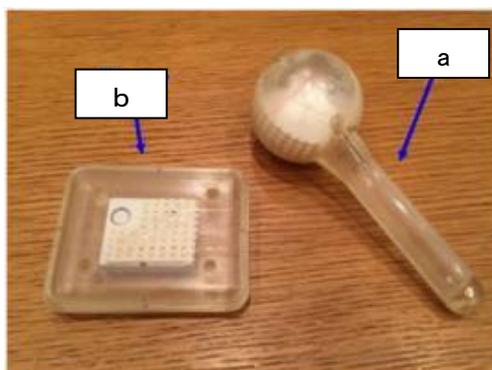
実験例) (左) 2歳8か月男児 (表2-1 No. 13)、(右) 3歳0か月女児 (No. 16)



### (2) 実験条件

- ・ 空中で計測装置を振る実験のモニター (実験3. と同じ)  
1歳、2歳、3歳の幼児、男女各3~4名 計20名
- ・ 計測装置を机に打ち付ける実験のモニター  
空中で計測装置を振る実験結果のうち、特に高い値を示した年齢群5名程度
- ・ 計測装置  
ボタン電池の誤飲事故に関連した製品として、キッチンタイマー、時計、ライト、玩具などがあるが、ボタン電池使用製品は多岐に渡るため今回は以下の2種類の形状について実験を行った。

- ・計測装置 a (下図右) : 子供が持って振り易いやすいもの (75 g)
- ・計測装置 b (下図左) : 子供が持って振りづらいもの (78g)



### (3) 実験結果

実験結果の加速度は、小数点以下第二位を四捨五入した値である。

平均値は生データの平均値を算出し、小数点以下第二位を四捨五入した値である。

モニター20人で実施した結果は表2-1の通りである。

表2-1 加速度計測結果

No	年齢	性別	a (G)	b (G)
1	1歳0か月	男	2.1	有効なデータ取れず
2	1歳1か月	男	有効なデータ取れず	有効なデータ取れず
3	1歳2か月	男	3.9	3.5
4	1歳2か月	女	2.0	1.8
5	1歳2か月	女	有効なデータ取れず	有効なデータ取れず
6	1歳2か月	男	4.7	4.6
7	1歳5か月	女	有効なデータ取れず	有効なデータ取れず
8	2歳1か月	女	8.4	6.9
9	2歳4か月	女	13.0	10.2
10	2歳7か月	男	13.5	11.7
11	2歳8か月	女	11.5	8.6
12	2歳8か月	男	13.3	7.2
13	2歳8か月	男	14.0	11.1
14	2歳11か月	女	11.2	7.1
15	3歳0か月	男	11.7	6.1
16	3歳0か月	女	11.3	5.7
17	3歳0か月	男	17.7	8.8
18	3歳1か月	女	12.9	11.9
19	3歳5か月	男	19.5	14.7
20	3歳6か月	女	17.8	16.1

※表中の1歳児の“有効なデータ取れず”は、計測器を振る動作を取ることができず、計測ができなかったことを示す。

表 2-1 の加速度データについて、年齢別に平均値と最小値・最大値を整理した結果を表 2-2 に示す。

表 2-2 年齢別の加速度の平均値と最小値・最大値

	平均値		最小値～最大値	
	a (G)	b (G)	a (G)	b (G)
1 歳児	3.2	3.3	2.1～4.7	1.8～4.6
2 歳児	12.1	9.0	8.4～14.0	6.9～11.7
3 歳児	15.1	10.6	11.3～19.5	5.7～16.1

当然のことながら、いずれの値も、3 歳児が最も大きな値であった。そこで、主に 3 歳児を対象に同じ計測装置を使用して、机に打ち付けた際の加速度の計測を行った。実験の様子を以下に示す。

実験例) 3 歳 1 か月女児 (表 2-3 No. 3)



計測結果を表 2-3 に示す。

表 2-3 打ち付けた際の加速度の計測結果

	年齢	性別	a (G)	b (G)
1	2 歳 10 か月	女	27.7	24.5
2	3 歳 0 か月	女	27.0	24.2
3	3 歳 1 か月	女	26.9	24.8
4	3 歳 1 か月	男	27.7	26.8
5	3 歳 6 か月	女	22.8	26.5
6	3 歳 7 か月	男	27.8	23.8

平均値と最小値・最大値を表 2-4 に示す。

表 2-4 打ち付けた際の加速度の平均値と最小値・最大値

平均値		最小値～最大値	
a (G)	b (G)	a (G)	b (G)
26.6	25.1	22.8～27.8	23.8～26.8

上記の加速度が生じる落下試験での高さを推定するために、同じ計測装置を様々な高さから落下させ、その際の加速度を計測した。今回の実験では、床面はコンクリートに薄く硬いゴムシートが敷かれた床面で行った。測定結果を表 2-5 に示す。

表 2-5 落下試験による落下高さごとの加速度の計測結果

計測装置 a

落下高さ (cm)	加速度(G) (1 回目)	加速度(G) (2 回目)	加速度(G) (3 回目)	加速度(G) (4 回目)	平均値 (G)
150	18.0	19.0	—	—	18.5
160	22.8	18.9	9.1	27.7	19.6
170	18.4	20.4	—	—	19.4
180	23.2	15.9	27.7	—	22.2
190	26.0	23.4	—	—	24.7

計測装置 b

落下高さ (cm)	加速度(G) (1 回目)	加速度(G) (2 回目)	加速度(G) (3 回目)	加速度(G) (4 回目)	平均値(G)
150	12.5	10.9	16.0	—	13.1
160	14.5	15.7	9.0	—	13.1
170	16.3	18.3	—	—	17.3
180	16.6	18.5	—	—	17.5
190	13.4	14.1	22.6	21.7	18.0
200	18.4	17.8	—	—	18.1

今回の実験では、落下開始姿勢（計測装置の向き）は同じになるように設定して行ったが、床面に接触する際の姿勢や接触位置によって、同じ高さからの落下でもバラつきが生じた。

### 3. コイン形リチウム電池のパッケージの安全対策の確認

#### (1) 実験方法

コイン形リチウム電池のパッケージを子供たちに持たせ自由に扱ってもらい、その様子を動画で記録し、パッケージの安全対策を検証した。

実験は場所に慣れさせてから実験を行った。実験時間は概ね1つのパッケージにつき最長5分までとしたが、子供の様子を見ながら調整した。また、一つずつ試すか、などについては、様子を見ながら対応した。

子供の安全確保のため、口にくわえようとする、などの動作が見られた場合は直ちに実験を中止することとした。

#### (2) 実験条件

- ・ モニター（実験2. と同じ）

1歳、2歳、3歳の幼児、男女各3～4名 計20名

- ・ 電池パッケージ

下記の5種類のパックで実施（いずれもコイン形リチウム電池 CR2032、2個パック）

- ・ A：プラスチック
- ・ B：生分解性プラスチック
- ・ C：紙台紙（裏面に小さな穴）
- ・ D：袋型
- ・ E：紙台紙（裏面に切り込み）



### (3) 実験結果

実験の様子を、以下に示す。(上) 3歳0か月女児、(下) 2歳8か月男児)



パッケージの開封結果について、「○：開封した、×：開封できなかった」としてまとめたものを、表2-6に示す。

表2-6 パッケージ開封の結果

(○：開封した、 ×：開封できなかった)

No	年齢	性別	A	B	C	D	E
1	1歳0か月	男	×	×	×	×	×
2	1歳1か月	男	×	×	×	×	×
3	1歳2か月	男	×	×	×	×	×
4	1歳2か月	女	×	×	×	×	×
5	1歳2か月	女	×	×	×	×	×
6	1歳2か月	男	×	×	×	×	×
7	1歳5か月	女	×	×	×	×	×
8	2歳1か月	女	○	○	×	×	×
9	2歳4か月	女	×	○	○	○	○
10	2歳7か月	男	×	○	×	○	○
11	2歳8か月	女	○※1	×	×	○	×
12	2歳8か月	男	○	○	○	○	○
13	2歳8か月	男	×	×	×	×	○
14	2歳11か月	女	×	○	×	×	×
15	3歳0か月	男	○	○	○	×	○
16	3歳0か月	女	×	○	○	×	×
17	3歳0か月	男	×	○	×	○	×
18	3歳1か月	女	○	○	○	○	○
19	3歳5か月	男	○	○	○	○	○
20	3歳6か月	女	○	○	○	×	○※2

※1：本人は気づいていないが、開封した状態だった。

※2：完全に開封はできていないが、一部のプラスチックが台紙から剥がれて隙間が空いており、ボタン電池が直接見える状態であった。

開封されたパッケージの抜粋写真を表2-7に示す。

表2-7 開封されたパッケージの例

No	A	B	C	D	E
8	○ 	○ 	× 	× 	× 
9	× 	○ 	○ 	○ 	○ 
12	○ 	○ 	○ 	○ 	○ 
18	○ 	○ 	○ 	○ 	○ 
19	○ 	○ 	○ 	○ 	○ 

#### 4. 考察

##### (1) ボタン電池等の誤飲による体内の被害状況の再現

未使用のボタン電池等の実験では、コイン形リチウム電池は実験開始直後から、化学反応が起き、泡が発生する様子が見られた。その他のボタン電池は、いずれも実験開始直後には特段の変化は見られなかったが、開始 10 分後に化学反応が起き、泡が発生する様子が見られた。また、今回実験に使用したいずれの電池でも、2 時間経過後の化学反応によって生成された溶液の pH 値が 13 以上となり、高いアルカリ性を示していた。2 時間経過後は、鶏肉の表面には「びらん」が発生しており内部の肉の組織が見られた。これらのことから、連続して同じ場所に留まった場合は、いずれの電池でも十分に「びらん」が発生する危険性があることが確認できた。特に電圧が高いコイン形リチウム電池は、「びらん」発生の進行が早く危険性が高いため、早急な対策が必要である。

使用後のボタン電池の実験からは、ライトの光が弱くなったり、ライトが点灯しなくなるといった、一般にボタン電池を交換すると思われるほど電圧が下がった電池は、反応が遅くなるが、「びらん」が発生するのに十分な電気容量が残っている場合があることが確認できた。使用後のボタン電池等であっても「びらん」が発生する可能性があり、十分注意する必要がある。

##### (2) 子供がボタン電池等使用製品を扱う際の力の測定

加速度の測定では、計測装置 a は計測装置 b よりも高い値を得た。

この理由として、計測装置 a は子供が持って振りやすい棒状の部分の、子供の持つ位置よりも先にある球内に加速度センサが入っているため、子供の手の動き以上の加速度が発生していると考えられる。子供が持って振りやすい棒状の製品に関しては同様の現象が起きると考えられる。そのため、子供が発揮できる実際の力よりも大きな力を物体にかけることができ、家具や壁などの物体に衝突した場合に大きな衝撃力を発生させることができると考えられる。

落下試験については、落下姿勢、床面との接触位置、物体の形状や構造によって、生じる加速度にバラつきがあることがわかった。そのため、製品の電池室の強度を確認する場合は、落下試験のみによる評価で十分であるかや、加速度のバラつきが生じる要因を考慮した上で、試験回数や落下条件などの試験手順を決めるといった検討が必要であると考えられる。

##### (3) コイン形リチウム電池のパッケージの安全対策の確認

今回の実験では、1 歳児は開封できなかった。しかし、実験という限られた時間での結果であること、実験実施環境や実験関係者への慣れの問題もあり、強い興味を示

すまでは至らないことがほとんどであった。ほとんどの保護者から、家であればもっと興味持って開けようとするはずである、というコメントが聞かれた。このような条件下での結果であることは考慮する必要がある。

いずれかのパッケージを開封できた最低年齢は、No.8の2歳1か月であり、A、Bのパッケージを開封できている。No.9の2歳4か月児は、A以外の4種類のパッケージを開封できており、No.8の結果も併せて考えると、2歳を超えると現状のパッケージの開封は十分に可能であると考えられる。

パッケージのデザインによって、子供がとる行動に一定のパターンがあり、AとBのパッケージでは折り曲げると音が鳴るため、折り曲げを繰り返すなど興味を持続させるのに影響している様子が見られた。Cのパッケージでは、店頭で販売する際に引っ掛けやすいようにフック状になっている部分があり、多くの子供がこのフック部分を握り、ねじる様子が見られた。

開封したときの様子を見てみると、パッケージ全体を折り曲げたり、強引に引っ張るなど、力で開けている場合が多かった。このことから、パッケージで想定されている開け方を知らなくても十分に開けられることがわかった。今回の実験では、子供の前でボタン電池のパッケージを開けたことがある保護者はいなかったことから、開ける様子を子供に見せないといった注意だけでは防ぐことができないことが分かる。

#### (4) まとめ

以上の3つの実験結果を踏まえると、全ての種類のボタン電池等で、誤飲した場合に「びらん」の可能性はあるが、特に「びらん」の進行が速く、電池の直径が大きく食道に留まる可能性が高いコイン形リチウム電池の対策が必要である。また、使用後の電池でも「びらん」が発生し、時間の経過とともに進行することから、使用後の電池も取扱いに十分留意する必要がある。

物体を振る力の計測結果では、落下条件や製品の形状・構造によって、得られる加速度にバラつきがあることから、落下試験によって製品の電池室の強度を確認する場合は、落下試験のみによる評価で十分であるかや、加速度のバラつきが生じる要因を考慮した上で、試験回数や落下条件などの試験手順を決めるといった検討など、十分な留意が必要であることがわかった。パッケージの開封実験の結果からは、想定された方法以外で開封していることから、パッケージを開ける様子を子供に見せないといった注意だけでは事故を防ぐことができず、より一層子供の行動や身体能力の理解をデータに基づいた、電池パッケージの安全対策を行う必要があると思われる。