



## 電池の研究開発における最近の動向

岩 倉 千 秋\*

### 1. はじめに

学問的には電池はそれを構成する系の化学的、物理的あるいは生物的（生物化学的）な変化に伴うギブズエネルギーの減少分を直接電気エネルギーに変換する装置であると言うことができるが、通常は電池と言えば化学変化を利用する化学電池を指し、これ以外は一括して特殊電池と呼んで区別したり、あるいはそれぞれ物理電池、生物電池（生物化学電池）と呼んだりすることが多い。

化学電池は物質が電極で自発的に化学変化する際に生じるエネルギーを直接電気エネルギーとして外部へ取り出すものであり、後述する一次電池、二次電池（蓄電池とも言う）および燃料電池がこれに該当する。今日の電池、化学電池は1800年に発明されたボルタ電池に始まると言われるように非常に古い歴史を持つものであるが、その技術は常に新しく、その時代に相応しい性能の新電池が次々と開発されてきた。そして、今でも宇宙船や電子機器のような先端分野にはなくてはならぬものであり、まさに化学電池は現代科学を支えていると言うことができる。物理電池では、一般に、外部から熱、光、放射線などのエネルギーを注入することによって系を不安定な状態すなわちエネルギーの高い状態とし、これが次にエネルギーの低い安定な状態に戻る物理変化の際のエネルギー減少分を直接電気エネルギーとして取り出す方法が採られる。これには最近非常に注目されて多方面で実用されつつある太陽電池を初め、従来から開発研究あるいは一部実用化されている熱電池、光電池、原子力電池などがある。生物電池（生物化学電池）は酵素や微生物のような生物

の機能を利用して酸化還元反応を行なわせるものであり、これには酵素電池、微生物電池および生物太陽電池がある。生物電池は将来性が有望視されているものの現在研究段階にあり、未だ実用化されたものは一つもない状態である。

以下では、通常は電池すなわち化学電池を取り上げ、その現状も含めて研究開発における最近の動向を概説する。

### 2. 実用電池の条件

ギブズエネルギーの減少を伴うすべての化学反応は原理的には電池に組み立てられ得るが、それが実用電池となるためには、一般に、(a)少量の活物質で多くの電気量を供給できること、(b)起電力が大きいこと、(c)分極が小さいこと、(d)自己放電が少ないこと、(e)充放電の繰り返しが可能であること（二次電池）、(f)材料が安価であること、(g)取り扱いが容易であること、などが要求される。しかし、これらすべての条件を完全に満たす電池は実際には望み得ないので、使用目的に応じて、例えば取り出せる電流は小さくてもよいが長期にわたり安定な電圧を保持するもの、軽量、小型のわりに多くの電気エネルギーを取り出せるもの、一時的に大電流を取り出せるものなど、重点的な条件を満足する比較的限られた形式の電池が製造されている。

1982年のわが国における電池の総生産を図1に示す。

### 3. 一次電池

一次電池とは充放電の繰り返しができない電池すなわち一度放電してその容量を失うと新しいものと取り替えなければならない電池である。主な実用一次電池の種類と構成を表1に示す。

\*岩倉千秋 (Chiaki IWAKURA) 大阪大学, 工学部, 応用化学科, 講師, 工学博士, 電気化学

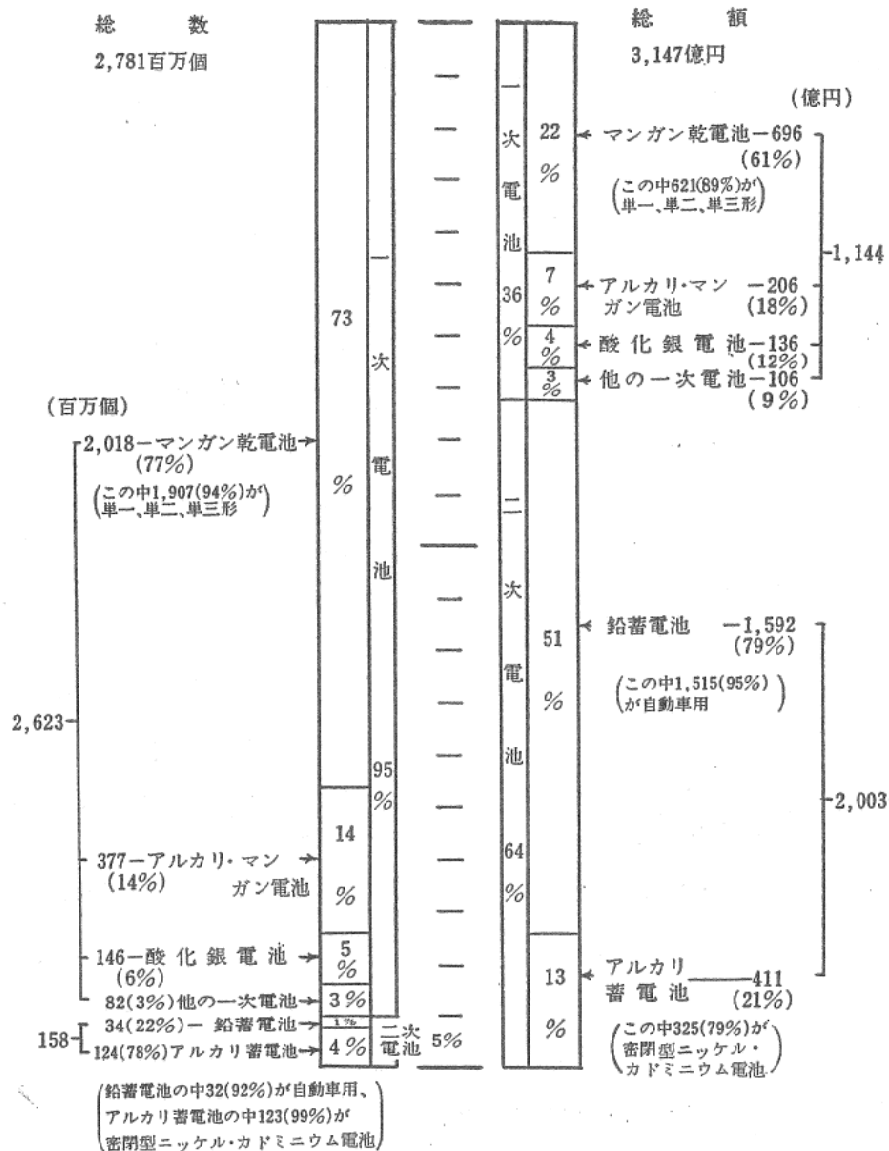


図1 日本における電池の総生産 (1982年)

篠原正男氏のご好意により、日本電池・器具工業会昭和58年10月15日発行「電池・器具」第740号4718頁から転載 (筆者一部修正加筆)

マンガン乾電池は取り扱いやすく、かつ廉価であるので灯火用、通信用、玩具用などの簡易電源として最も普及しており、日本の一次電池総生産のうちでこの電池の占める割合は1972年から1982年の過去10年間に数量で98%から77%へ、金額で94%から61%へと目立って減少したが、依然として一次電池の王座を維持している。この間に電卓、腕時計、カメラ、補聴器などの小型精密電子機器用電源に使うボタン型の酸化銀電池や電卓、ラジオカセットテープレコーダー、ストロボ、シェーバーなどに使われ、また1980年頃の銀価格高騰以後は酸化銀電池に

代わるものとしてボタン型でも使われているアルカリ・マンガン電池、さらには1973年に商品化された高電圧、高エネルギー密度を有するリチウム電池などの需要が著しく増大している。中でもアルカリ・マンガン電池の伸びが特に顕著である。その内訳は1978年頃まではLR 6 (単三形) が数量で70%を占め、その後は30%程度であったが1979年以降はその他の比率が次第に高まり、1982年には63%に達している。後者の約70%はボタン型である。

以上の一次電池についてもさらに電池材料、要素技術の改良を行なうとともに新材料の開発

表1 現在実用されている主な一次電池

種類	構成			公称電圧(V)	特徴および用途
	負極活物質	電解質	正極活物質		
マンガン乾電池 (ルクランシエ電池)	Zn	NH <sub>4</sub> Cl・ZnCl <sub>2</sub> または ZnCl <sub>2</sub>	MnO <sub>2</sub>	1.5	最も安価で取り扱い便利。電解質形態にペースト式とペーパラインド式あり。ルクランシエ型は軽負荷間欠放電向き。比較的新しいZnCl <sub>2</sub> 型(塩化亜鉛電池)は重負荷連続放電向きで耐漏液性、保存性良好。簡易電源として最も普及。別に高電圧用に積層乾電池、低温用に耐寒乾電池あり。
アルカリ・マンガン電池	Zn	KOH または NaOH	MnO <sub>2</sub>	1.5	普通のマンガン乾電池より高価、作動電圧安定、エネルギー密度大。主としてKOHを使用。KOH型は重負荷用で温度特性良好。NaOH型は軽負荷用で耐漏液性良好。マンガン乾電池と類似の用途に多用。最近酸化銀電池に代わるボタン型も急増。充電可能で二次電池化を検討中。
水銀電池	Zn	KOH または NaOH	HgO	1.35	アルカリ・マンガン電池より高価、作動電圧安定性非常に大。エネルギー密度大、高温特性、保存性良好。軽負荷向き。小型精密電子機器用電源などに汎用。近年は使用減少の傾向あり。別にMnO <sub>2</sub> を正極活物質に一部混合した電池(公称電圧1.4V)あり。
酸化銀電池 (銀電池)	Zn	KOH または NaOH	Ag <sub>2</sub> O	1.55	水銀電池より高価、作動電圧高く非常に安定。エネルギー密度大、温度特性、保存性良好。重負荷向き。小型精密電子機器用電源としてボタン型が多用。1980年頃の銀価格高騰以後、伸び減少。二次電池化可能。別にAg <sub>2</sub> Oを正極活物質に用いる過酸化銀電池(一般に注水型)あり。
塩化銀電池	Mg	海水	AgCl	1.7	注水電池(海水電池)の一種。高価、小型で短時間大電流放電可能、作動電圧安定性、低温特性、保存性良好。海難救助用、レジャー用、軍用などに使用、別にZnを負極活物質、Zn化合物のゲルを電解質に用いる乾電池式(1.0V)あり。
空気電池 (空気亜鉛電池)	Zn	NH <sub>4</sub> Cl KOH または NaOH	空気 (O <sub>2</sub> )	1.4 1.3	空気中の酸素を活性炭に吸着。エネルギー密度大で小型化可能。作動電圧安定性、保存性良好。比較的短寿命。空気乾電池、アンモン空気湿電池、亜鉛酸アルカリ空気湿電池あり。電話ベル用、鉄道踏切用などの軽負荷間欠用に好適。重負荷に耐えるボタン型アルカリ空気湿電池も出現。二次電池化可能で電気自動車用などに研究開発中。
リチウム電池	Li	LiBF <sub>4</sub> (BL) または LiClO <sub>4</sub> (PC+DME)	(CF) <sub>n</sub> または MnO <sub>2</sub>	3.0	小型軽量高電圧の高エネルギー密度電池。フッ化黒鉛・リチウム電池や二酸化マンガン・リチウム電池は有機溶媒使用、作動電圧安定性、温度特性、保存性良好。民生用として市場での成長率大。別にLiLiClO <sub>4</sub> (THF+DME) Ag <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 、Li LiAlCl <sub>4</sub> (SOCl <sub>2</sub> ) SOCl <sub>2</sub> 、Li Li P2VP・nL <sub>2</sub> などあり。1.5V級電池や二次電池化も研究開発中。
ニッケル・亜鉛電池	Zn	KOH または NaOH	NiOOH	1.6	小型高エネルギー密度電池として新たに登場。安価、高電圧、エネルギー密度、出力密度大、急放電特性、低温特性良好。ボタン型が小型精密電子機器用などに実用。充電可能で電気自動車用高性能二次電池として研究開発中。

に向けて活発な研究が進められている。例えば、現在市販されているリチウム電池は3V級であるが、従来の汎用電池との互換性を持たせるために1.5V級リチウム電池の開発も行なわれている。また、封口技術は電池の小型化、高信頼性を達成するための非常に重要な技術であり、プラスチックシールなど種々の方法が検討されている。

#### 4. 二次電池

二次電池は充放電の繰り返しができる電池す

なわち一度放電したものに外部電源から逆方向の直流を流して充電すると再び容量を回復するので繰り返し使用できる電池である。実用されている主な二次電池を表2に示す。

鉛蓄電池は安定した品質、高度の信頼性、適度の経済性を有するため最も広く実用されており、二次電池総生産のうち数量で22%、金額で79%を占めている。このうちの数量で92%、金額で95%が自動車用に使われており、残りは電気車、列車、船舶、航空機、ゴルフカート、フォークリフトなどの移動・動力用や発電所、変

表2 現在実用されている主な二次電池

種類	構成			公称電圧 (V)	特徴および用途
	負極活物質	電解質	正極活物質		
鉛蓄電池	Pb	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PbO <sub>2</sub>	2.0	安定した品質、高度の信頼性、適度の経済性を有し、最も広く実用。主として自動車用。このほか各種移動用、予備、常時電源などの据置用、コードレス機器用（小型密閉型）として使用。現在の正極板はペースト式とクラッド式が主流。前者は比較的安価、小型軽量、放電容量大、高率放電特性良好、短寿命。後者は比較的高価、構造丈夫、きわめて長寿命、深い放電に好適。メンテナンスフリー化技術も確立。現在電気自動車用などとして研究開発中。
ニッケル・鉄電池 (エジソン電池)	Fe	KOH	NiOOH	1.2	鉛蓄電池より軽量、高エネルギー密度、長寿命、機械的に堅牢。その反面高価、高温・低温での性能劣化、充電時の水素発生（効率低下、安全性）の問題あり。軽負荷用。鉄道用途に一部で使用。現在電気自動車用などとして研究開発中。
ニッケル・カドミウム電池 (ユングナー電池)	Cd	KOH	NiOOH	1.2	アルカリ蓄電池の中で最も広く実用。大部分が密閉型。ニッケル・鉄電池より充放電時の電位差少、低温特性良好、自己放電少。鉛蓄電池より高価、低エネルギー密度なれど軽量、長寿命、機械的に堅牢、過充電過放電に耐え、自己放電少、保守経費安い。一般に軽負荷用、改良型の焼結式は極板厚小、重負荷用に好適。照明用、始動用、通信用、非常据置用のほか、密閉型の出現以後コードレス機器用、メモリーバックアップ用、防災設備用などにも多用。
酸化銀・亜鉛電池 (酸化銀電池) 銀電池	Zn	KOH	AgO	1.5	元来一次電池として開発。現在実用の二次電池の中でエネルギー密度最高。他の二次電池より小型軽量、放電電圧安定性、重負荷特性、低温特性良好なれど短寿命、高価。軍用、宇宙開発用など高性能が要求される特殊用途にのみ使用（自動注射液型）。
酸化銀・カドミウム電池 (酸化銀電池) 銀電池	Cd	KOH	AgO	1.1	酸化銀・亜鉛電池より長寿命、水素発生がほとんどなくて密閉化有利なれど低電圧、高価。軍用などの特殊用途に使用限定。日本では生産せず。

電所、電報電話局、無線中継所、その他における負荷調整、予備電源、常時電源などの据置用として用いられている。また、最近ではメンテナンスフリー化技術も確立され、小型密閉型鉛蓄電池も開発されてコードレス機器用としても使用されるようになった。鉛蓄電池以外の実用二次電池はすべてアルカリ蓄電池と呼ばれるものであるが、ニッケル・カドミウム電池の他は特殊用途を中心に一部で使用されているに過ぎない。ニッケル・カドミウム電池は鉛蓄電池に比べて購入価格は高いが機械的強度、寿命、保守性などの点で優れているので、鉛蓄電池と類似の分野に使われる他、特に小型化、密閉化の技術が確立されてからは用途が急激に拡大し、電卓、ストロボ、シェーバー、テープレコーダー、テレビ、VTRカメラなどの各種コードレス機器用、メモリーバックアップ用、非常誘導灯、非常警報器などの防災設備用などにも多用

されている。1982年の統計によれば、アルカリ蓄電池のうちで密閉型ニッケル・カドミウム電池が占める割合は数量で99%、金額で79%にも達している。

以上のような鉛蓄電池やアルカリ蓄電池についてもさらに高性能化を目指して研究開発が続けられている。また、近年、これらの他にも電気自動車や電力貯蔵の新しい需要分野に適応する高性能新型二次電池の研究開発が非常に活発に行なわれているが、これについては後節で述べることにする。

## 5. 燃料電池

前述のような分類によれば燃料電池も一次電池に含まれる（ただし充電可能な再生型燃料電池もある）が、通常の一次電池や二次電池が起電反応の源となる物質すなわち活物質を電池本体に内蔵するものであるのに対して、燃料電池

表3 現在実用あるいは研究開発中の主な燃料電池

種類	構成			特徴および用途
	燃料	電解質	酸化剤	
アルカリ性電解質燃料電池	H <sub>2</sub> , CH <sub>3</sub> OH または N <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	KOH	O <sub>2</sub>	主に25~50% KOH水溶液を使用。85% KOH水溶液を用い加圧下で200°Cを越える場合もあるが、通常50~100°C程度の低温で作動。高電圧、低温作動でも高効率。電解質はマトリックスに含浸。電解質の腐食性比較的小で構成材料の選択性大。貴金属触媒必要。CO <sub>2</sub> と電解液の接触を避ける必要あり。特に空気使用の場合にはCO <sub>2</sub> 除去装置必要。軍用や宇宙開発用に実用。民生用としては無人運転用や動力用などに一部で実用または試用。現在電気自動車用、家庭用なども研究開発中。
酸性電解質燃料電池	H <sub>2</sub> または CH <sub>3</sub> OH	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> または H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	O <sub>2</sub> または 空気	主に96~100% H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> 水溶液を使用（リン酸燃料電池、第1世代燃料電池）。通常常圧または加圧下180~220°C程度の中温で作動。H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> の場合は低温作動。電解質はマトリックスに含浸。CO <sub>2</sub> が混在する燃料や酸化剤も使用可。電解質の腐食性大。酸素極特性悪く、出力電圧低い。貴金属触媒必要。電極構成材料の耐食性向上、電極触媒の安定化などが課題。軍用に実用。天然ガス、メタノールなどを燃料としたオンサイト発電用、分散発電所の実証プラントを試運転中。現在最も開発度高く、大規模に研究開発中。
溶融塩電解質燃料電池	H <sub>2</sub> , CO または 炭化水素	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> または Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	O <sub>2</sub> +CO <sub>2</sub>	主にLi <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> またはNa <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> の混合物の溶融体を使用（溶融炭酸塩燃料電池、第2世代燃料電池）。通常600~700°C程度の高温で作動。電解質の形態にマトリックス型とペースト型あり。高効率、高出力密度。貴金属触媒不要。使用可能な燃料の種類多い。排熱の質高い。O <sub>2</sub> と一緒に常時CO <sub>2</sub> を供給する必要あり。電解質による高温腐食、電解質の劣化、シール技術、電池構成技術などが問題。石炭ガスなどを燃料とした分散発電所や中央発電所の研究開発が非常に活発。天然ガスを燃料にする家庭発電用としても有望。
固体電解質燃料電池	H <sub>2</sub> , CO または 炭化水素	ZrO <sub>2</sub> -CaO または ZrO <sub>2</sub> -Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	O <sub>2</sub> または 空気	主に(ZrO <sub>2</sub> ) <sub>0.85</sub> (CaO) <sub>0.15</sub> , (ZrO <sub>2</sub> ) <sub>0.91</sub> (Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>0.09</sub> などの安定化ジルコニアを使用（固体酸化物電解質燃料電池、第3世代燃料電池）。通常900~1,000°C程度の高温で作動。電解質は薄円筒状。高効率、高出力密度が期待できる。貴金属触媒不要。使用可能な燃料の種類多い。排熱の質高い。固体電解質の導電率向上および薄膜化の技術、耐熱性材料の開発などが問題。石炭ガスなどを燃料にする大規模発電用として注目されているが、開発度低い。

とは活物質である燃料（水素、メタノール、ヒドラジン、一酸化炭素、炭化水素など）と酸化剤（酸素、空気、過酸化水素、塩素など）を外部から連続的に供給して直接電気エネルギーを取り出すとともに反応生成物を排出する電池であり、電池全体としてはむしろエネルギー変換システムと考えられるものである。燃料電池は燃料の種類や作動温度によって分類することもできるが、電解質によって分類すると主なものには、表3に示すように、アルカリ性電解質燃料電池、酸性電解質燃料電池、溶融塩電解質燃料電池および固体電解質燃料電池がある。その他、トリフルオロメタンスルホン酸のような超酸電解質燃料電池や Nafion のような固体高分子電解質燃料電池などもある。燃料電池の最大の特長は他の発電方式に比べて格段に高いエネルギー変換効率を有することである。現実には、アルカリ性電解質燃料電池以外では、比較的高

い温度、圧力を有する良質の水蒸気が得られ、地域の冷暖房や給湯用として電力の他に熱も併わせて供給可能であり、うまく利用すれば総合熱効率80%という非常に高い効率が期待できる。

従来から、携帯無線電源などの軍用やジュミニ5号に始まる一連の宇宙船用などの特殊用途で水素・酸素燃料電池、メタノール燃料電池、ヒドラジン燃料電池などが実用されてきた。民生用としては、灯台、雨量テレメータ、テレビ中継所などの無人運転用やモーターバイク、ゴルフカート、フォークリフト、トラクターなどの移動・動力用などに一部で実用または試用されたこともあるが、寿命や経済性の問題があるのでまだ本格的な実用化の域には達していない。しかし、最近、省エネルギー、無公害発電システムとして再び脚光を浴び始め、各種燃料電池の実証試験が行なわれている。それらは軍

用、宇宙開発用などの特殊用、電気自動車などの運輸用、一般家庭、レストラン、学校、病院などのオンサイト用あるいは分散発電所、中央発電所などの電力事業用と多岐にわたっている。

なお、次節でも述べるように、日本では通商産業省工業技術院が中心となっていくつかの大型プロジェクトの中で電池関連の研究開発が行なわれている。燃料電池に関しては、大型新エネルギー技術研究開発計画（通称サンシャイン計画、昭和49年度発足）でアルカリ型燃料電池および固体電解質型燃料電池の研究開発が行なわれた。これらは昭和56年度から大型省エネルギー技術研究開発計画（通称ムーンライト計画、昭和53年度発足）に移行して、リン酸型燃料電池と熔融炭酸塩型燃料電池も加えられ、現在4種の型の燃料電池を対象に昭和61年度までの予定で「燃料電池発電技術の研究開発」が進められている。このプロジェクトは天然ガス、メタノール、石炭ガス等を燃料とする発電効率の高い燃料電池を開発し、分散型発電所から老朽火力発電所代替用までの広い適応性を持つ発電システムを確立するものであり、多方面から注目され、その成果が大いに期待される。

## 6. 新型電池

本節では、これまでに述べたことと若干重複するところもあるが、社会的要請の強い電気自動車、電力貯蔵などの新しい分野に使用するために開発されつつある高性能新型電池について述べる。

電気自動車用電池の研究開発は無排気、低騒音という無公害性、脱石油を目指すエネルギー源多様化の政策、深夜余剰電力の有効利用による発電設備の効率的利用、さらにはシティカーシステムなどへの応用をふまえた新交通システムの確立など様々な視点から電気自動車を開発すべく、その動力源としての電池を開発しようとするものである。そのためには一充電走行距離、最高速度、加速性能、登坂能力などの要件を満たす高性能（高エネルギー密度および高出力密度）の電池でなければならず、また比較的長いサイクル寿命、低価格であること、さらに

保守、取り扱いが容易で安全性も高いことなどが要求される。他方、電力貯蔵用電池の研究開発は省エネルギー、省資源、脱石油などを目指しており、特に、大容量高性能の新型電池を開発して、深夜などオフピーク時の余剰電力を貯蔵し、ピーク時に放出するいわゆるロードレベリング（負荷平準化）の機能を持つ電力貯蔵システムを開発しようとするものである。そのためにはエネルギーの大量貯蔵（高エネルギー密度）、高充放電効率、非常に長いサイクル寿命、さらに低価格、安全性などが要求される。

電気自動車や電力貯蔵（ロードレベリング）にはそれぞれ内燃機関、揚水発電というすでに確立された競合技術があるので、それに打ち勝つためには在来電池に比べて飛躍的な性能向上と大幅な製造価格低減がなされた電池が開発されなければならない。これらに重点を置いて現在研究開発が進められている主な新型電池を表4に示す。前節までの分類に従えば、表中の電池の大部分は明らかに二次電池に属するが、他のいくつかはこれらの枠を越えた電池である。例えば、レドックスフロー型電池は別々のタンクに貯蔵したレドックス水溶液をポンプにより流通型電槽に供給して充放電させる形式の電池で、いわゆる充放電可能な再生型燃料電池（ただし、充電できるという意味から二次電池に分類されることが多い）である。また、亜鉛—塩素電池や亜鉛—臭素電池は一对の電極と  $ZnCl_2$  水溶液あるいは  $ZnBr_2$  水溶液から成る液循環型の二次電池であり、燃料電池の形式にも近く、まさに新型というほかない。ただしこれらの電池自体はいずれも亜鉛—ハロゲン電池として古くから知られ、それぞれ塩素の供給・貯蔵法、亜鉛と臭素の反応による自己放電に問題があったもので、現在開発中の電池では通常塩素は水和物槽中で冷水と反応させて固体水和物として貯蔵され、また臭素は不溶性油状の錯化合物として負極液とは別のタンクに貯蔵される。

これらについても通商産業省工業技術院が中心となって研究開発が行なわれている。例えば、大型工業技術研究開発制度（通称大型プロジェクト制度、昭和41年度発足）では昭和46年度から6年間にわたって「電気自動車の研究開



表4 現在研究開発中の主な新型電池

種類	構成			開路 (理論) 電圧 (V)	特徴および用途
	負極 活物質	電解質	正極 活物質		
鉄—ニッケル電池	Fe	KOH	NiOOH	1.4	古くエジソンが発明，鉄の焼結法改良により再登場．充電時に電解液を循環する方式もあり．常温で作動．エネルギー密度比較的高く，高出力密度，長寿命．高価，低温での性能低下，充電時の水素発生による低電流効率，安全性などが問題．製造価格の低減が重要課題．電気自動車用として研究開発中．
亜鉛—ニッケル電池	Zn	KOH	NiOOH	1.7	常温で作動．エネルギー密度，出力密度ともに高く，特に急放電特性に優れる．短寿命（亜鉛極の変形， dendroライト析出などが原因），高価などが問題．製造価格の低減，亜鉛極の長寿命化，高性能セパレータの開発が重要課題．電気自動車用として研究開発中．
鉄—空気電池	Fe	KOH	空気 (O <sub>2</sub> )	1.3	空気中の酸素を使用．常温で作動．エネルギー密度きわめて高い．低出力密度，短寿命，低充電効率，空気極に高価な触媒必要などが問題．出力特性の優れた電池との併用（ハイブリッド電源方式）の必要あり．課題は亜鉛—空気電池とはほぼ同じ．電気自動車用として研究開発中．
亜鉛—空気電池	Zn	KOH	空気 (O <sub>2</sub> )	1.6	空気中の酸素を使用．常温で作動．電解液固定式と電解液循環式あり．エネルギー密度きわめて高い．低出力密度，短寿命，低充電効率，高価，保守・取扱い不便などが問題．鉛蓄電池とのハイブリッド方式での使用が有望．製造価格の低減，長寿命化，保守・取扱いの簡易化が重要課題．電気自動車用として研究開発中．
ナトリウム—硫黄電池	Na	$\beta'$ - アルミナ (Na <sub>2</sub> O· Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	S	2.1	熔融状態の活物質と固体電解質を使用．300～350°Cの高温で作動．理論エネルギー密度きわめて高い，両極活物質の資源豊富，高充放電効率，低自己放電率，完全密閉化可能で保守不要．短寿命，高価などが問題．良質，低価格の固体電解質管の製造法開発が最重要課題．電気自動車用，電力貯蔵用として研究開発中．
リチウム—硫化鉄電池	Li	LiCl-KCl	FeS <sub>2</sub>	1.8	熔融塩電解質を使用．400～450°Cの高温で作動．エネルギー密度きわめて高い．高電流充放電可能，特殊なセパレータ不要，安全性高い．短寿命，温度の維持・制御などが問題．高性能で安価なセパレータの開発，単電池の性能均質化が重要課題．電気自動車用，電力貯蔵用として研究開発中．
亜鉛—塩素電池	Zn	ZnCl <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>	2.1	塩素を冷水に通し，水和物として固定．常温作動液循環型電池．エネルギー密度きわめて高い．低出力密度，短寿命，塩素の安全管理などが問題．電極の性能向上（ dendroライト析出防止，グラファイト電極の活性化処理），ポンプ等補機の信頼性向上が重要課題．電気自動車用，電力貯蔵用として研究開発中．
亜鉛—臭素電池	Zn	ZnBr <sub>2</sub>	Br <sub>2</sub>	1.8	臭素を錯体として固定．常温作動液循環型電池．高エネルギー密度．短寿命，高自己放電率，臭素の安全管理などが問題．長寿命化，効率向上のため高性能セパレータ材料，電極材料の開発，小型ポンプの効率，信頼性の向上が重要課題．電気自動車用，電力貯蔵用として研究開発中．
レドックスフロー型電池	Cr <sup>2+</sup>	HCl	Fe <sup>3+</sup>	1.2	タンクに貯蔵したレドックス水溶液をポンプで流通型電槽に供給して充放電させる形式の常温作動電池．長期保存に好適（週間サイクル，太陽光発電，風力発電などの電力貯蔵），イオン種の増量で高容量化可能．高性能，長寿命の電極材料，イオン交換膜の開発などが課題．電力貯蔵用として研究開発中．
鉛蓄電池	Pb	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	PbO <sub>2</sub>	2.1	最も完成度が高く，広く実用．マツト構造型ペースト式，液循環式薄型など種々の改良型，新型が電気自動車用，（電力貯蔵用）として研究開発中．高エネルギー密度化（作業物質の利用率向上，構造部分の軽量化），長寿命化，（極板，電槽等の大型・大容量化，充放電エネルギー効率の向上）などが課題．

発」が行なわれた。ここでは都市内定走行用の内燃機関自動車等に代替することのできる電気自動車の研究開発ということで、電気自動車の一充電走行距離の飛躍的向上が目標とされたので、電池についてはエネルギー密度の向上が最重点項目となり、理論エネルギー密度の高い亜鉛-空気電池、鉄-空気電池、鉄-ニッケル電池およびナトリウム-硫黄電池の開発が進められるとともに鉛蓄電池についても高エネルギー密度化に重点を置いた研究開発が進められた。こうして作業物質の利用効率の向上および構造部分の軽量化が徹底的に検討された結果、例えば鉛蓄電池は市販自動車用鉛蓄電池に比べて電池重量中に占める極板と電解液の重量比率が90%前後まで大幅に増えるとともに活物質の利用効率も高いものでは約70%にも達した。これらの成果がもたらした波及効果は絶大である。また、前記のムーンライト計画の一環として「新型電池電力貯蔵システムの研究開発」が昭和55年度から実施されている。このプロジェクトでは昭和65年度までに新型電池を用いた1 MW級の電力貯蔵システムを建設して、商用の電力系統と連系して実証試験を行ない、実用化の目的をつける計画である。新型電池としてはナトリウム-硫黄電池、亜鉛-塩素電池、亜鉛-臭素電池およびレドックスフロー型電池の4種が取り上げられているが、同時にシステム試験に供されるサンプル蓄電池としての改良型鉛蓄電池の開発も行なわれている。前記のように現在電力負荷調整には揚水発電が行なわれているが、これに代わる新型電池電力貯蔵システムの技術が完成すれば電力設備の有効利用、原子力、石炭火力などの発電効率の向上、石油代替効果、送変電設備の節減、送電ロスの軽減など種々の大きな経済効果が期待でき、また太陽光発電、風力発電など間欠的な自然の新電力エネルギーの実用化を図るための貯蔵技術、さらには電気自動車への応用など多くの波及効果も期待される。なお、アメリカやヨーロッパにおける電気自動車用、電力貯蔵用などの新型電池の研究開発動向は、対象電池の重点に若干の差はあっても、概して日本と同じである。

## 7. おわりに

以上で概説してきたように、在来電池はさらに改良を加えられて次第に小型（軽・薄・短・小）化、高性能化、低コスト化し、同時に新しい考え方に基づく電池も次々と開発されて様々な分野で使用されている。これらの陰で電池の電極反応機構や活物質、電解質、セパレータ、さらには触媒、集電体、電槽等の材料物性などに対する地道な基礎研究が続けられていることを強調しておきたい。これも本文中ではほとんど触れなかったが、現在、半導体電極を用いる電気化学光電池、層間化合物へのインターカレーションを利用する二次電池、導電性高分子を用いるプラスチック電池、オールソリッドステート化を目指す固体電解質電池、水素吸蔵合金を用いる二次電池等々も盛んに研究されている。本拙文が「電池は古い」という一般の方々の固定観念を振り払う一助ともなれば幸いである。

このような機会を与えて下さり、多大の御指導を賜った大阪大学工学部田村英雄教授ならびに塩川二郎教授に深く感謝致します。なお、本稿を作成するにあたり、個々に断わらなかったが、多くの個所で下記の文献を参照させていただいたし、また電気化学協会電池技術委員会、電気化学協会燃料電池研究懇談会、燃料電池技術研究会、新エネルギー総合開発機構新型電池電力貯蔵システム技術開発委員会新型電池部会および日本電池・器具工業会の多くの方々から資料の御提供や御教示をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 電気化学協会編，“電気化学便覧（新版）”，丸善（1964）。
- 2) 佐々木熊三監修，“電池ハンドブック”，電気書院（1964）。
- 3) 吉澤四郎監修，“新しい電池（新訂版）”，東京電機大学出版局（1978）。
- 4) 日本化学会編，“化学便覧応用編（改訂3版）”，丸善（1980）。
- 5) 高橋祥夫，電気化学，48（12），672（1980）。
- 6) 相沢益男，鈴木周一，電気化学，48（12），680（1980）。
- 7) J. O'M. Bockris, B.E. Conway, E. Yeager



- and R. E. White, eds., "Comprehensive Treatise of Electrochemistry", Vol. 3, Plenum Press, New York (1981).
- 8) 電池技術委員会 30周年記念出版物編集委員会編, "電池技術", 電気化学協会電池技術委員会(1981).
  - 9) 綜合出版センター 昭和58年1月20日発行, "ニューエネルギージャーナル", No. 15 (冬季号), P. 29 (1983).
  - 10) A. F. Sammells, J. Chem. Educ., 60 (4), 320 (1983).
  - 11) 新エネルギー総合開発機構昭和58年5月20日発行, "NEDO ニュース", Vol. 3-6, No. 29, P. 4 (1983).
  - 12) 山崎健一郎, 電気化学, 51 (7), 587 (1983).
  - 13) 外郎 正, 江田信夫, 電気化学, 51 (7), 592 (1983).
  - 14) 野崎健, 電気化学, 51 (7), 597 (1983).
  - 15) 新村 明, 電気学会雑誌, 103 (8), 757 (1983).
  - 16) 中原堅司, 電気学会雑誌, 103 (8), 759 (1983).
  - 17) 小沢丈夫, 電気学会雑誌, 103 (8), 761 (1983).
  - 18) 日本電池・器具工業会昭和58年10月15日発行, "電池・器具", 第740号, 4718頁 (1983).