

# 新しい電池の開発と動向

## Development and Trend of New Batteries

竹原 善一郎\*

Zenichiro Takehara

### 1. はじめに

電池の歴史は1800年のボルタの電池の発明にさかのぼることができる。すでに、1859年には現在の二次電池の原型であるブランテの鉛蓄電池が、1864年には現在の一次電池の原型であるルクランシェのマンガン電池が発明されている。その後の100年の間に、この2つの電池は多くの改良が加えられ、性能改善がなされてきたが、今も尚、一次電池、二次電池の主軸として生産されている。これは、この2つの電池における活物質と電解質との組み合わせが、電池としての機能を十分兼ね備えており、しかも現状では、実用電池として経済的、技術的両面で有利に生産できる立場にあるためである。一方、最近、エネルギー関連、エレクトロニクス関連の2方面で電池のニーズが急激に高まり、それらに対応した新電池の開発が望まれるようになってきた。エネルギー関連では、電力貯蔵用新型二次電池の開発が、エレクトロニクス関連では電子機器電源に使う小型あるいは薄型の高エネルギー密度電池の開発が望まれ、前者では大型化が指向され、後者では超小型化が指向されている。

電力貯蔵用電池は、電力の負荷調整を目的とするもので、夜間の余った電力を貯蔵し、昼間のピーク時に発電し、最大需要をまかなうものである。現在、この目的で揚水発電が用いられているが、それに適する場所がなくなり、都市内または都市近傍でも設置可能な電池による貯蔵が期待されている。そのためには、揚水発電と同等以上の経済性と変電所用地と同等以下の設置面積で電力の供給ができることが必要となる。交流入出力端での総合エネルギー効率70%以上、充放電サイクル1,500以上(約10年)のサイクル寿命をもつ、出力1,000kW程度の二次電池の製作が待たれている。

燃料電池を用いると、水素と酸素とを電池の中で反

応させることにより、直接電気エネルギーを得ることができるので、従来の火力発電に比べ、燃料から電気への高いエネルギー変換効率が期待できる。すなわち、燃料電池は省エネルギー型の化学力発電法といえることができる。天然ガス、アルコール、石炭ガスなどを燃料に用い、10MW規模の代替電源として用いる集中発電方式や団地などの電源に用いる分散発電方式の燃料電池の開発、さらに40kW規模の学校、ホテル、病院に電力と熱を同時に供給するオンサイト発電方式の燃料電池の開発が待たれている。火力発電の燃料から電力へのエネルギー変換効率は最高40%程度であるが、前者では、50%以上、後者では、排熱も利用するので80%以上の総合エネルギー変換効率が期待できる。

科学技術の進歩は、電子機器、医用機器、コードレス家庭製品などの普及をもたらし、また、宇宙や海洋などの開発のための機器の必要性が増してきた。それらに利用する小型高エネルギー密度で保存性がよく、高度の電圧精度をもつ一次電池や、密閉化された高出力二次電池の開発が待たれている。

これら最近の電池への要求に対応し、従来の電池の改良さらに新しい着想の下での新型電池の開発、またエネルギー利用システム全体の中での電池の位置づけ、さらには電池を超大型化、超小型化したときの問題点の把握にもとづいた電池の最適設計が強く望まれている。最近の科学技術の進展、特に、新材料の開発はそれらに答えることが可能であり、今後の発展が期待できる。

### 2. 電池構成材料の新しい展開

電池は化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換する装置で、正極・活物質/電解質/活物質・負極の組み合わせからなり、外部回路で電氣的仕事をすることができる。正極、負極には電子導電性材料、電解質にはイオン導電性材料、正極活物質には酸化剤、負極活物質には還元剤が用いられ、電池反応における自由エネ

\*京都大学工学部工業化学教室教授

〒606 京都市左京区吉田本町

ルギー変化，電池の中での反応性，安定性，さらに資源的な面や安全性，経済性など種々の要因を考慮してそれら相互の組み合わせが選択される。

2.1 電解質

現在実用されている電池には，ほとんど水溶液が用いられている。それは溶媒である水が誘電率が大きいので，電解質塩を溶解，解離する能力が大きく，また粘度が小さいので解離イオンの移動に対する抵抗が小さいなどのため，比導電率の大きい液体電解質をつくることのできるためである。しかし，それからつくられる電池は，低温や高温では利用できず，水を分解するような活物質，すなわち，水を分解し，水素を発生するような還元剤や，酸素を発生するような酸化剤は用いることができない。そのため，実用電池の負極活物質には，水素や水素よりも強い還元性をもつが，水と反応し，水素を発生する反応速度の小さい，鉛，カドミウム，亜鉛が用いられている。自己放電が特に小さく保存性がよいことが要求される一次電池では，水銀でコウ和するなどして，さらに水との反応速度を下げているのが現状である。水溶液電解質を用いる電池では，単電圧は最大で2.0V程度が限度となっている。しかし，最近の技術の進歩は，水溶液以外の電解質を電池に用いることを可能にした。特に，水よりも難酸化還元性電解質を電池に用いることにより，活物質選択の幅を広げることが可能となり，高沸点電解質を用いることにより，電池を高温で運転することが可能

となり，電池作動時の分極低減が期待できるようになった。プロピレンカーボネートのような非プロトン性有機溶媒にLiClO<sub>4</sub>などの塩類を溶かした電解質，アルカリ金属のハロゲン化物や炭酸塩などの熔融塩，イオン交換膜，β-アルミナ，安定化ジルコニアなどの高イオン導電性無機固体がこれに相当する。参考のために，これら電解質の比導電率と操作温度の範囲を比較すると図-1のようになる。

(1) 非プロトン性電解液

非プロトン性電解液の溶媒には，有機および無機化合物があり，電池の電解質溶媒として可能性のあるものを表1に示す。負極活物質にリチウムを用いる電池

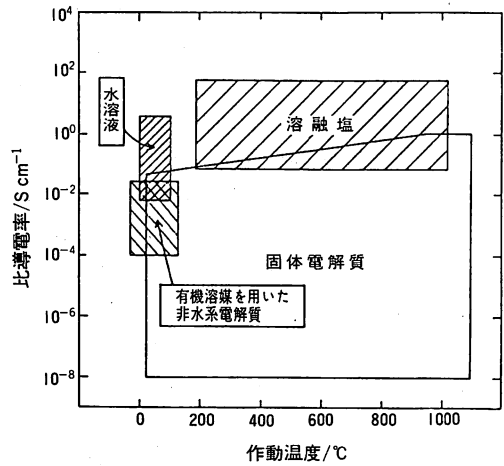


図-1 種々の電解質の比導電率と作動温度の範囲

表1 溶媒の物理化学的性格 (25°C)

	融点 (°C)	沸点 (°C)	比誘電率	粘度 (cP)	密度 (gcm <sup>-3</sup> )	双極子 モーメント (Debye)	ドナー数	アクセ プター 数
<b>A. 有機溶媒</b>								
エチレンカーボネート	39-40	248	89.6(40°)	1.85(40°)	1.3218(39°)	4.80	16.4	—
プロピレンカーボネート	-49	241	64.4	2.53	1.19	5.21	15.1	18.3
ジメチルスルホキシド	18.55	189.0	46.45	1.991	1.0955	3.96	29.8	19.3
スルホラン	28.86	287.3	43.26(30°)	10.284(30°)	1.2619(30°)	4.7	14.8	19.2
γ-ブチロラクトン	-43	202	39.1	1.75	1.13	4.12	—	—
テトラヒドロフラン	-108.5	65.0	7.39	0.46	0.880	1.71	20.0	8.0
1,2-ジメトキシエタン	-58	83-84	7.20	0.455	0.859	1.07	20	—
1,3-ジオキソラン	-95	78	7.13	0.589	1.0600(20°)	—	—	—
2-メトキシテトラヒドロフラン	—	80	6.24	0.457	0.848	—	—	—
ジエチルエーテル	-116.22	34.60	4.265	0.224	0.70768	1.18	19.2	3.9
<b>B. 無機溶媒</b>								
水	0	100	78	0.89	1.00	1.94	—	—
二酸化硫黄	-75.46	10.02	14.1(20°)	0.291	1.3695	1.60	—	—
塩化ホスホリル	1	108	13.9(22°)	1.15(20°)	1.460(20°)	2.40	11.7	—
塩化チオニル	-104.5	75.8	9.25(20°)	0.603(20°)	1.629(20°)	1.38	0.4	—
塩化スルフリル	-54.1	69.4	9.15(22°)	0.674	1.6570	1.795	—	—

表2 溶融塩電解質の融点および比導電率

	融点 (°C)	比導電率 (S cm <sup>-1</sup> )
LiCl	610	5.92 (620°C)
NaCl	808	3.73 (850°C)
LiCl-KCl (58.8-41.2)	353	1.57 (450°C)
LiF-LiCl-LiI (11.7-29.1-59.2)	341	2.3 (375°C)
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	754	5.66 (800°C)
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	854	3.03 (900°C)
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (62.0-38.0)	491	1.2 (650°C)
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> -K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (43.5-31.5-25.0)	397	0.75 (500°C)

では、溶質に、LiClO<sub>4</sub>、LiBF<sub>4</sub>、LiPF<sub>6</sub>、LiAsF<sub>6</sub>などが用いられ、10<sup>-2</sup> S cm<sup>-1</sup>程度 (1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 5 x 10<sup>-1</sup> S cm<sup>-1</sup>)の比導電率をもつ電解液が得られている。電池に用いる場合、イオン導電性がよい以外に、酸化剤、還元剤に対して安定であることが要求される。プロピレンカーボネートと1, 2ジメトキシエタンとの混合溶媒、 $\gamma$ -ブチロラクトン、塩化チオニルなどは、強い還元剤であるリチウムに対して非常に安定で、負極にリチウムを用いる一次電池の電解質溶媒に適している。これらの溶媒は酸化剤に対して安定で、還元剤に対しては不安定であるが、リチウム上にイオン導電性の保護被膜を形成し、これを介して、リチウムと接触するので安定となる。二次電池では、負極にリチウムを用いる場合、充電時に負極にリチウムが析出する。リチウムの平衡電位よりもさらに負の電位にした状態でも分解しないことが要求される。4-メチルジオキソラン、2-メチルテトラヒドロフラン、スルホランなどの溶媒が注目されている。

## (2) 溶融塩

無機化合物を高温にすると、液化し溶融塩となる。溶融塩は導電率が高く、高温で作動できるので、高出力でエネルギー変換効率の高い電池の開発が期待できる。さらに、非プロトン性電解液を用いる場合と同様に、分解電圧の大きい溶融塩を用いると、起電力の大きい高エネルギー密度電池をつくることことができる。しかし、高温で、腐食性の強い電池の活物質や電解質が用いられるので、それに耐える隔膜、電極や容器などの電池構成材料が得にくく、実用電池への適用はむづかしい。

実用電池には低融点で、しかも液体で安定で気化しにくく、さらに難酸化還元性である溶融塩が選択されねばならない。安定なアルカリ金属やアルカリ土類金属の塩類を、融点を下げる目的で、数種混合した溶融

塩が用いられる。表2に2, 3の溶融塩の性質を示す。電池作動時に液体となるので、溶融塩に対して安定で、表面積の大きい $\gamma$ -LiAlO<sub>2</sub>、SrTiO<sub>3</sub>のような粉末を混合し、タイル状にしたものや、これに補強剤としてホウ化窒素繊維などを添加したものが用いられる。

## (3) 固体電解質

一般に固体のイオン導電率は、液体の電解質に比べると著しく小さいので、現在まで、ほとんど電池の電解質として用いられなかった。最近、特定イオンのみを選択的に透過し、電子導電性を示さず、しかも10<sup>-1</sup> ~ 10<sup>-3</sup> S cm<sup>-1</sup>程度の高いイオン導電性を示す固体が多く見だされてきた。このような固体を用いると、液体を収容する容器が不用で、漏液の心配がなく、腐食性も小さくなるので、電池構造が簡単となる。薄型の固体のみからなる電池をつくることが可能となる。また、両極活物質の混合を防ぐ隔膜としての役割を果たし、活物質に気体を用いることも容易となり、さらに、高温での利用や活物質に強い酸化剤や還元剤を用いることのできる電解質をつくることも可能となる。表3に現在その利用が期待されている固体電解質の性質を示す。

## 2.2 活物質

電池の活物質には一般に固体が用いられ、負極活物質には還元性の強い金属が、正極活物質には酸化性が強く、電解質への溶解度が小さい金属の酸化物や硫化物が用いられている。これは電極へ活物質が保持され易く、両極活物質の接触も、目の粗い隔膜で十分防ごうことのできるためである。最近では、液体や気体活物質を用いることも可能となった。この場合、電子導電性で、電気化学的に安定で、しかも反応に対して触媒作用を示す電極が必要となる。実用あるいは現在開発が進められている種々の活物質の組み合わせに対する理論エネルギー密度を比較すると図-2のようになる。

表3 固体電解質の導電イオンとその比導電率

	導電イオン	比導電率 (S cm <sup>-1</sup> )
LiI-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (40%)	Li <sup>+</sup>	1 x 10 <sup>-5</sup> (25°C)
Li <sub>3</sub> N (単結晶)	Li <sup>+</sup>	3 x 10 <sup>-3</sup> (25°C)
LiI-Li <sub>2</sub> S-P <sub>2</sub> S <sub>5</sub> (ガラス質)	Li <sup>+</sup>	1 x 10 <sup>-3</sup> (25°C)
LiCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub> -ポリエチレンオキシド	Li <sup>+</sup>	3 x 10 <sup>-4</sup> (25°C)
Li <sub>14</sub> Zn(GeO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> (リシコン)	Li <sup>+</sup>	1.3x10 <sup>-1</sup> (300°C)
RbAg <sub>4</sub> I <sub>5</sub>	Ag <sup>+</sup>	2.7x10 <sup>-1</sup> (25°C)
H <sub>3</sub> PW <sub>12</sub> O <sub>49</sub> · 29H <sub>2</sub> O (単結晶)	H <sup>+</sup>	2 x 10 <sup>-1</sup> (25°C)
SrCe <sub>0.95</sub> Yb <sub>0.05</sub> O <sub>3-α</sub>	H <sup>+</sup>	8 x 10 <sup>-3</sup> (900°C)
Na <sub>2</sub> O · 11Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (βアルミナ)	Na <sup>+</sup>	2 x 10 <sup>-1</sup> (300°C)
Na <sub>3</sub> Zr <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> PO <sub>12</sub> (ナシコン)	Na <sup>+</sup>	3 x 10 <sup>-1</sup> (300°C)
(ZrO <sub>2</sub> ) <sub>0.9</sub> (Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) <sub>0.1</sub> (安定化ジルコニア)	O <sup>2-</sup>	2 x 10 <sup>-2</sup> (800°C)

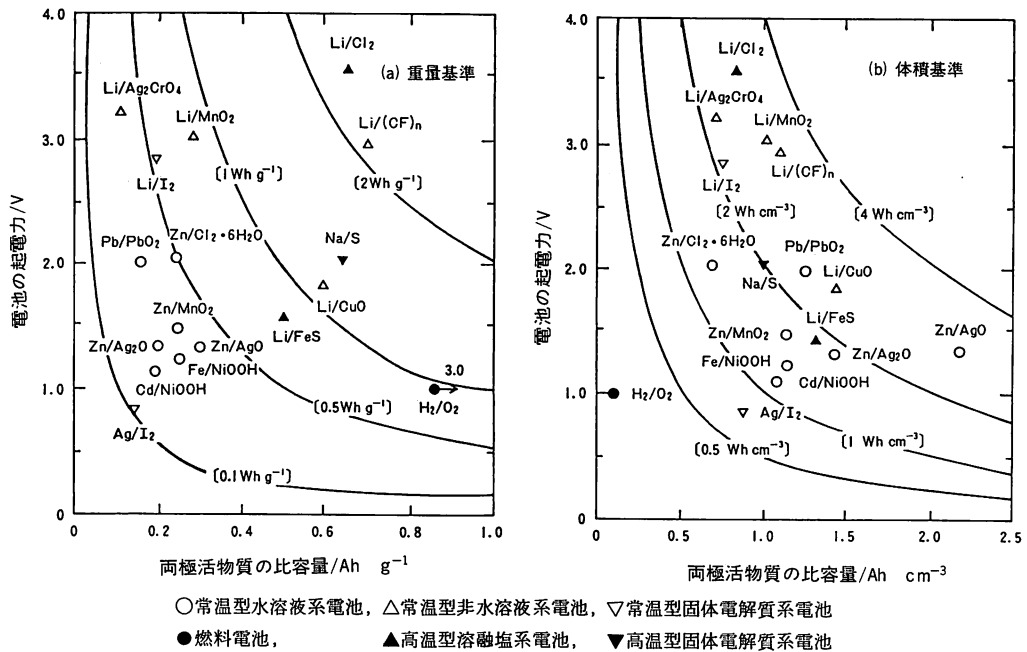


図-2 実用あるいは開発中の種々の電池の活物質のみを考慮した単位重量あるいは体積当りの比容量と起電力の関係および理論エネルギー密度

電池を大きい電流密度で放電すると、大きい過電圧やオーム損のため電池電圧は低下し、その低下分は熱となって有用に利用できない。また、二次電池や燃料電池では、電池の寿命が経済性と大きく関係する。これらは、電池の活物質以外の構成材料とも大きく関係し、一般に、電池のエネルギー密度を大きくすると、電池の出力密度や寿命は低下する。図-3に、現在実用されている電池と将来開発が予想されている電池のエネルギー密度と出力密度との関係を、また、鉛蓄電池では現状の結果をサイクル寿命との関係で示す。

(1) 固体活物質

電池の自己放電を抑え、その中での化学エネルギーの保存性をよくするには、1種類の電解質を用い、正負両極とも活物質は固体であることが望ましい。固体活物質を用いる場合、反応面と電極との間での電子の移動に対する抵抗が小さいこと、反応面上での電気化学反応が速いことは勿論であるが、反応生成物が活物質内部あるいは電解質側に速やかに表面から逸散し、常に新しい面で反応が進むものでなくてはならない。固体中の層間あるいはトンネル状空孔の中を、反応種の出入りと、固相を形成している物質の酸化状態の変

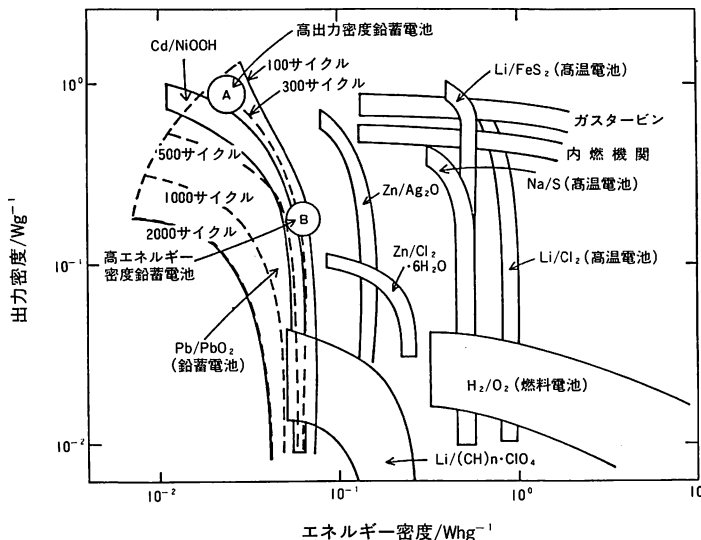


図-3 種々の二次電池などの出力密度とエネルギー密度との関係予想図 (なお鉛蓄電池では現状の結果をサイクル寿命との関係で示す)

化により、酸化還元が進むような化合物を活物質に用いるのが望ましい。一次電池では、放電生成物が電解液中に溶解していてもよいが、二次電池では、活物質近傍に再析出し固体として電極中に保持されねばならない。水溶液を用いる場合は、水を分解しないという条件が加わるので、実際に使用できる活物質の数は少ない。水溶液を用いる場合、二次電池では、正極活物質には、 $PbO_2//PbSO_4$ ,  $NiOOH//Ni(OH)_2$ ,  $Ag_2O//Ag$  が、負極活物質には、 $Pb//PbSO_4$ ,  $Cd//Cd(OH)_2$ ,  $Zn//ZnO$  が用いられ、一次電池では、正極活物質には、 $MnO_2$ ,  $Ag_2O \cdot AgO$ ,  $HgO$  が、負極活物質には  $Hg \cdot Zn$  が用いられているに過ぎない。

水溶液に代わる新しい電解質の利用により、活物質選択の幅をひろげ、新しい活物質が利用できるようになった。負極活物質には、還元力の強い、リチウムとアルミニウムやケイ素の合金を用いると、充放電のサイクル寿命をのばすことができる。また、層構造やトンネル構造をもつ多くの酸化物、硫化物が正極活物質として、またその候補者として実用あるいは研究されている。一次電池の活物質として、 $MnO_2$ ,  $CuO$ ,  $(CF)_n$ ,  $AgCrO_4$  などが実用され、二次電池の活物質として、 $TiS_2$ ,  $MoS_2$ , アモルファス  $V_2O_5 \cdot P_2O_5$  などが実用に近いと言われている。その他、 $TiO_2$ ,  $V_6O_{13}$ ,  $Mo_8O_{23}$ ,  $Cr_3O_8$ ,  $VS_2$ ,  $CrS_2$ ,  $VSe_2$ ,  $NbS_2$ ,  $Cu_4Mo_6S_8$ ,  $Cr_{0.5}V_{0.5}S_2$ ,  $NiPS_3$ ,  $FeOCl$  など多くの無機化合物が研究の対象になっている。共役二重結合をもつ有機高分子化合物も活物質として利用

できる可能性をもっており、ポリアセチレン、ポリアニリン、ポリピロール、ポリパラフェニレン、ポリチオフェンなど多くの高分子化合物の電池への適用が考えられている。

(2) 液体活物質

液体電解質に活物質を溶解させるか、液体の活物質を用い、炭素などの電極上で酸化還元反応を行わせると、その反応速度を大きくすることができ、高出力密度電池をつくることのできる。この場合、活物質の電極への拡散が反応の律速段階となるので、活物質の溶解度が小さい場合は電解質溶液を強制的に循環させる形式をとらねばならない。液体活物質の利用は、正、負両極活物質の完全な分離がむづかしく、自己放電を避けることができないため、実用にはなりにくかった。 $H^+$ ,  $Li^+$ ,  $Na^+$  などの特定のイオンのみを選択的に透過し、電解質や活物質に対して安定なイオン交換膜や固体電解質の開発(このような膜を電池作動中に形成させてもよい)は、液体活物質の利用を可能にし、今後の開発が期待されている。塩化チオニルなどの正極活物質への適用や液体ナトリウムの負極活物質への適用はこの線に沿ったものである。

水溶液電解質に活物質を可溶させて用いる電池では、 $Cr^{2+}//Cr^{3+}$ 系と $Fe^{3+}//Fe^{2+}$ 系を組み合わせ、酸性溶液中で $H^+$ イオンのみを通す膜で両極室を分離する方法などが提案されている。通常は気体であるシュウ素なども $Br_3^-$ イオンのような形で溶解させて用いると、過電圧を小さくすることができる。

### (3) 気体活物質

気体活物質は電子導電性の固体電極に吸着させて用い、活物質を電池系外より連続的に供給する方法がとられる。そのため大電流放電時の分極が大きく、高出力を得るのはむづかしい。気体のイオン化反応に対する触媒性が高く、しかも気体、電極、電解質の間で三相帯が十分形成されるような電極が作成できるようになり、気体も実用電池の活物質として用いられるようになった。燃料電池、空気電池、ニッケル・水素電池などの高性能化のために、新しい電極の開発が待たれている。

### 3. 小型高エネルギー密度一次電池

経済的見地からは水溶液を電解質に用いる電池がよく、 $MnO_2/Zn$ 系が主流を占めるであろう。活物質に用いる $MnO_2$ や $Zn$ は改良が試みられ、高活性なものが製造されるようになった。電解質も塩化アンモニウム・塩化亜鉛混合水溶液から、塩化亜鉛濃厚水溶液やアルカリ性水溶液を用い、ペースト式からペーパーラインド方式へと改良され、高性能化がはかられた。経済性を問わない分野では、高出力密度電池として、 $AgO/Zn$ 系や $SOCl_2/Li$ 系が、高エネルギー密度電池で保存性のよい電池として、 $MnO_2/Li$ 系、 $(CF)_n/Li$ 系や $SOCl_2/Li$ 系などのリチウム電池が、また、 $MnO_2/Zn$ 系に代用する電池として $CuO/Li$ 系の電池の需要が増すであろう。これらの電池はCMOS、RAMなどのメモリーバックアップ用電源としても期待される。電池構成部分がすべて固体の電池は、この分野では理想的な電池で、とくに医用電池やICカード用電池の分野で重用されるであろう。固体電解質を用いたリチウム電池の開発が待たれる。

### 4. ポータブル機器の電源としての二次電池

密閉化できる二次電池が利用できる。水溶液以外の電解質を用いて、長期間の充放電サイクルを密閉状態で進めることは非常にむづかしい。 $NiOOH/Cd$ 系は充電時正極で発生する酸素が負極で吸収できるので、密閉化が非常に容易である。今後も $NiOOH/Cd$ 系が主流として、その軽量化、長寿命化へ向けての開発研究が進められるであろう。経済的見地からは、鉛蓄電池の密閉化が理想である。現在、充電時発生する酸素を負極活物質と反応させ、水に戻す方式の電池が開発されている。人工衛星などに搭載する機器の電源としては長期間の信頼性が重要で、 $NiOOH/H_2$ 系が期待

され、開発が進められている。高エネルギー密度を得るという見地からは、非水系電解質を用いる電池が開発されねばならない。正極活物質に $TiS_2 \cdot MoS_2$ などの層状無機化合物や、ポリアセチレンなどの共役二重結合をもつ有機高分子化合物を用いるリチウム電池の開発が待たれる。とくに、固体電解質を用いると、薄型の高エネルギー密度二次電池をつくることができ、その用途の拡大が望まれる。

### 5. 大型高出力・高エネルギー密度二次電池

二次電池をその本来の用途である、自動車などのエンジン始動用、フォークリフト、構内運搬車用などの動力源、電力機器の操作用電源などとして、また即応した電力の供給、停止が可能な電源として、すえ置きの非常用電源や予備電源として用いる場合は、経済性や電池性能など総合的にみて、鉛蓄電池にまさる電池は現われにくいと思われる。

電池を自動車の動力源として用いるときは、内燃機関と同程度の性能が、電力貯蔵用や負荷調整用として用いるときは、同じ目的で使われる揚水発電の電力から電力への変換効率70%程度が要求される。現在実用されている電池を用いたのでは、この要求は満足できない。新しい着想の下での電池の開発が待たれる。 $Cl_2/Zn$ 系、 $Br_2/Zn$ 系、 $Fe^{3+}/Cr^{2+}$ 系の液体活物質を用いる液循環型の電池や $FeS/LiCl \cdot KCl/Al \cdot Li$ 系や $C \cdot S/\beta-Al_2O_3/Na$ 系の高エネルギー密度電池の開発が待たれている。

### 6. 燃料電池

現在、天然ガス、メタノール、ナフサ、さらには石炭を原料とした改質ガスからの水素を用い、水素中に含まれる二酸化炭素によって変質しない点より、電解質に200°C程度の濃厚リン酸水溶液を用いる燃料電池が研究され、すでにわが国でも、1000kW出力で発電端効率40%以上、予測寿命40,000時間の電池がつけられている。しかし、この電池は白金などの高価な電極触媒を必要とし、とくに、正極の触媒は常にカソード分極された状態でないと、溶解析出反応のくり返しにより劣化するので、電池を常に運転状態にしておかねばならない。また、一酸化炭素は触媒毒として作用するので、燃料を水蒸気改質して生成する一酸化炭素はこれを完全に水素に改質し、除去してやらねばならない。これら諸点から考え、リン酸型燃料電池による発電は、火力発電などと比べ、経済的にはかなり苦しい

立場におかれる。

燃料を600-1000°C程度の高温で運転すると、白金などの触媒を必要としない。低分極での電池作動が可能、水素以外に一酸化炭素なども燃料として用いることが可能、高温の質の高い排熱の利用などが可能となり、総合効率の向上と電池製造コストの低減が期待できる。このような観点から熔融アルカリ炭酸塩を電解質に用いた電池や安定化ジルコニアを電解質に用いた電池の開発が今後進められていくであろう。

熔融炭酸塩燃料電池では、 $\text{Li}_2\text{CO}_3$  と  $\text{K}_2\text{CO}_3$  の共融混合物に、 $\text{LiAlO}_2$  を混合し、タイル状にした電解質を用い、約650°Cで電池を運転する。電解質の両側に、多孔質酸化ニッケル正極と多孔質ニッケル負極を貼り合わせた単電池を、セパレータを介して積層し、電池スタックがつくられる。電解質中を $\text{CO}_3^{2-}$ イオンが移動するので、負極では、水とともに二酸化炭素が発生する。正極には空気とともに、負極で発生した二酸化炭素を供給する。電池に直接燃料を送り、電池の中で発生する水と熱を利用して燃料を水素と一酸化炭素に改質し、電極にそのまま供給する内部改質法の適用が望まれる。腐食性の強い電解質を用い、電池を高温で

運転するので、電池構成材料の腐食や電解質のロスは避けられず、実用には、それらの解決が待たれる。

$\text{ZrO}_2$  に  $\text{Y}_2\text{O}_3$  を10モル%程度添加して得られる固体は、1000°C程度の高温で安定で、 $\text{O}^{2-}$ イオンに対して高い導電性を示す。このような固体電解質を用いると、1000°C程度の高温で電池を作動させることができる。安定で信頼性の高い薄状固体電解質の製作や熱ショックや反応ガスに対する電池構成材料の安定が要求され、実用化には解決すべき問題が多い。

## 7. おわりに

電池は現在多方面での活用が期待され、そのための高性能化が望まれている。近年の科学技術は多くの新しい機能材料や構造材料を生みだし、新しい電池開発のための材料を提供している。実用電池としての機能を多く兼ね備えた、マンガン電池、鉛蓄電池、アルカリ蓄電池などの古い型式の電池の改良は今後進められていくであろうが、これら電池を超えた新しい着想の下での電池の開発も重要で、現在はそれのよい機会である。その成否は電池技術者の今後の努力にかかっている。今後の発展を期待したい。

### 洋書紹介

### バイオガス技術：転移と拡散

- <原 題> Biogas Technology, Transfer and Diffusion  
 <著 者> M. M EL-Halwagi  
 <発行年> 1986年  
 <ISBN> 1-85166-000-3  
 <価 格> £ 55.00  
 <発行所名> Elsevier Applied Science Publishers, London  
 <サイズ> 23×16 cm, 717 pages.  
 <内 容>

1984年11月カイロで開催された国際会議に提出された論文を基に編集された本書は、バイオガス技術の発展性とその最大限の発展に必要な開発を予測する内容をもつと共に、技術・環境・社会・経済・組織など、バイオガスシステムの設計、運転、拡散に関連する諸問題を均衡良く扱っている。

<申込み> 近くの洋書店にてお申込み下さい。