



①

蓄電池技術開発の現状と将来

2011.6.11

浜松工業会愛知支部

静岡大学工学部 特任教授・名誉教授

藤波達雄 (41C, 43MC)

②

講演内容

1. 電池の種類と特長、原理
2. 蓄電池の役割
電力貯蔵用蓄電池、車載用蓄電池
3. 蓄電池の現状と課題
4. 蓄電池技術の開発動向
5. 将来の蓄電池と車社会

1. 電池の種類と特長、原理

3

電池の種類

化学電池	一次電池	乾電池	懐中電灯、リモコン、時計
		リチウム電池	腕時計
		亜鉛空気電池	補聴器
	二次電池 (蓄電池)	鉛蓄電池	車、バイク
		ニッケル電池	電気カマコ(最近は減少)
		ニッケル・水素蓄電池	ハイブリッド車、携帯機器
		リチウムイオン電池	携帯電話、ノートパソコン、デジタルカメラ
		ナトリウム・硫黄電池(NAS)	夜間電力貯蔵
	燃料電池		

物理電池	太陽電池	シリコン系	太陽光発電、電卓
		化合物半導体系	電卓
	熱電池		

蓄電池の構成

4

正極、負極で酸化還元反応

電気エネルギー ← 化学エネルギー
電気化学反応

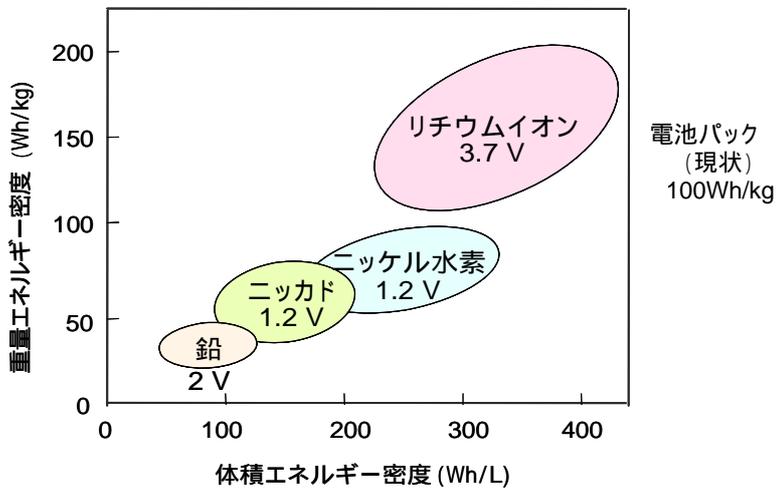


正極 }
負極 } 構成材料によって電池の種類、性能異なる
電解質 }

蓄電池	正極	電解質	負極	電圧 (V)
ニッケル水素電池	ニッケル酸化物	アルカリ水溶液	水素吸蔵合金	1.2
ニッケルカドミウム電池	ニッケル酸化物	アルカリ水溶液	カドミウム	1.2
リチウムイオン電池	リチウム複合酸化物	有機電解液	炭素	3.7
鉛電池	二酸化鉛	希硫酸	鉛	2

5

蓄電池のエネルギー密度(単セルあたり)



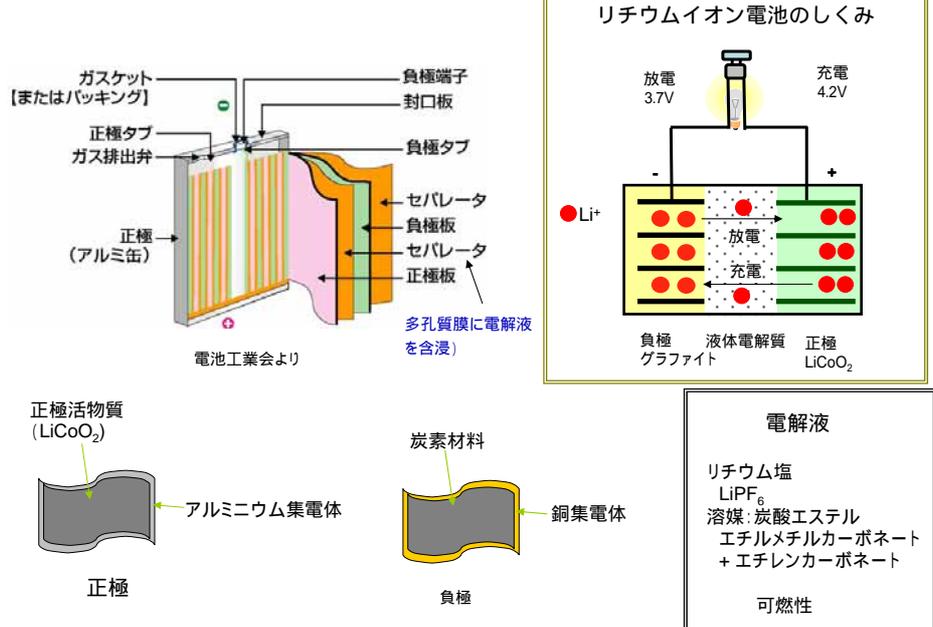
蓄電池
キャパシタ

エネルギー密度 出力特性 寿命 安全性

ハイブリッドキャパシタ
キャパシタ+電池
キャパシタのエネルギー密度上昇

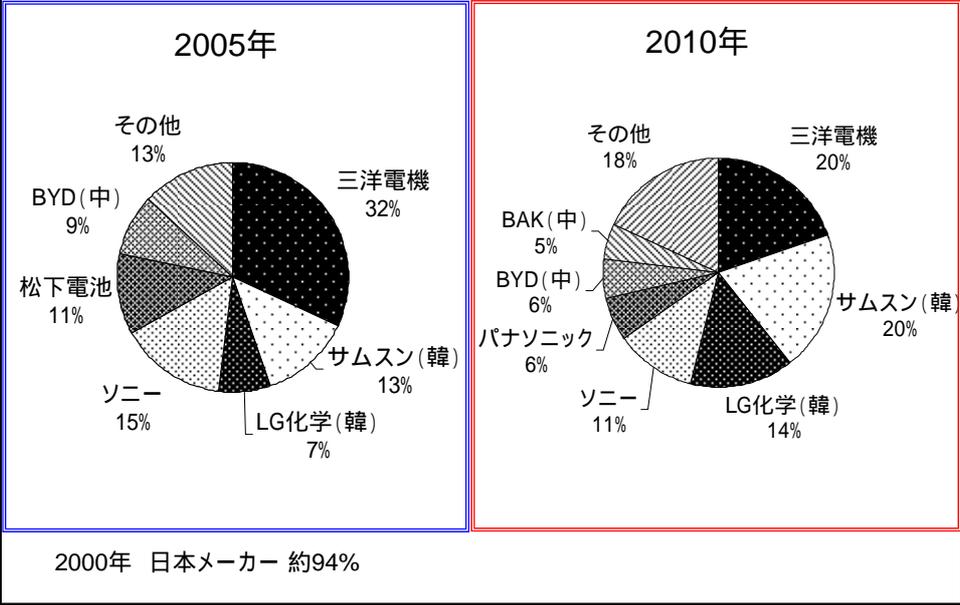
6

リチウムイオン電池



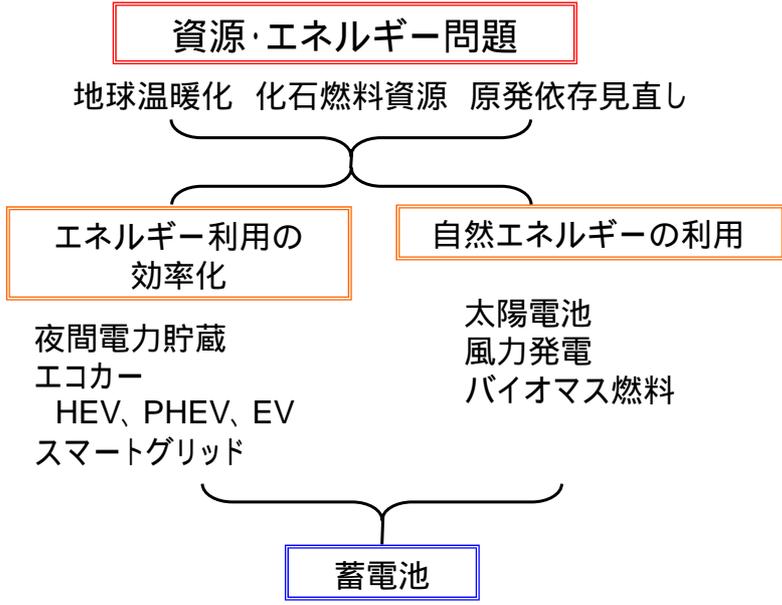
リチウムイオン電池の世界シェア

7



2. 蓄電池の役割

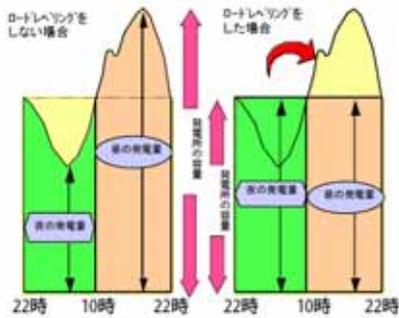
8



蓄電による電力不足対策

電力負荷平準化
 ピークシフト 作業日時の変更
 ピークカット 電力利用削減
 ボトムアップ 深夜電力利用、夜間電力貯蔵

夜間電力貯蔵(電力不足対策)
 揚水発電
 蓄電



NEDOより

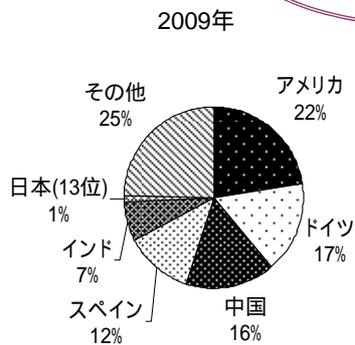
NAS電池(大型、高温作動)
 リチウムイオン電池
 家庭用 小型蓄電池 数kWh
 オフィス用 中型蓄電池 数十kWh
 事業所用 大型蓄電池 数百kWh
 電気自動車・プラグインハイブリッド車

自然エネルギー

風力発電

太陽光発電

発電量が不規則
 平準化のため蓄電池必要



2010年
 世界 1億8000万KW (180GW)

日本 1000万戸に太陽電池を設置する(菅首相)

時間、天候による変動



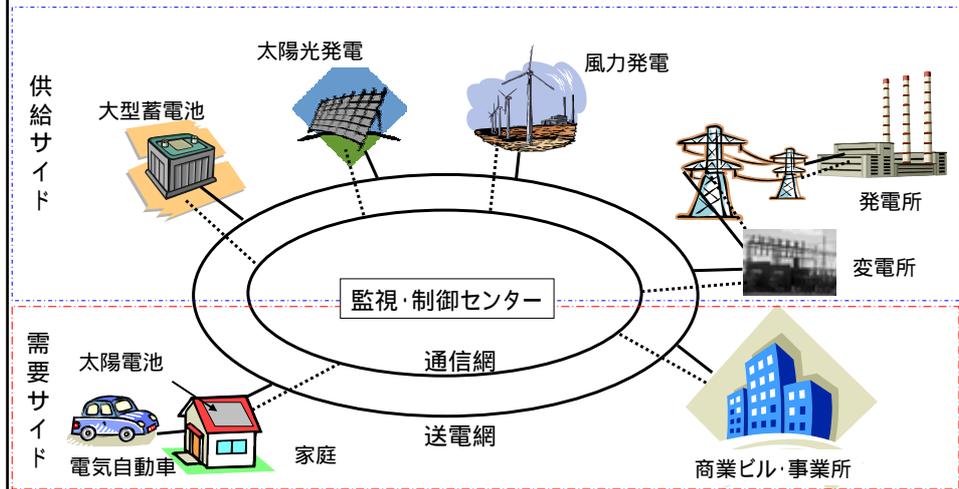
蓄電必要

スマートグリッド(次世代送電網)

11

背景 自然エネルギー(変動大)の大量導入
電気自動車の普及

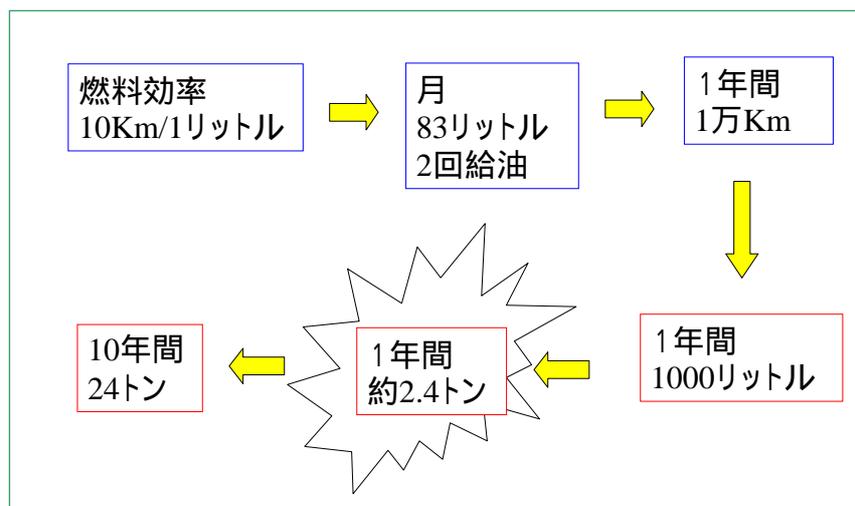
IT技術 + 蓄電池 → 発電と消費の電力の流れを最適化



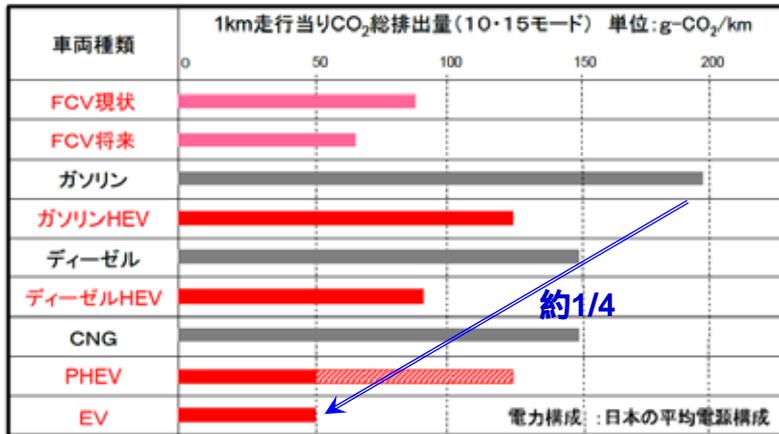
運輸部門の石油依存度はほぼ100%

12

車からどのくらいの二酸化炭素が排出されるのか？



二酸化炭素排出量

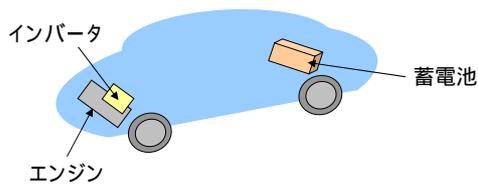


車両種類による1km走行当りCO₂総排出量

NEDOより

ハイブリッド車 (HEV: Hybrid Electric Vehicle)

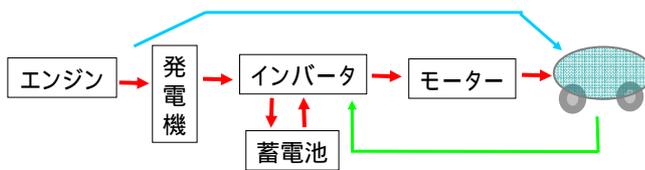
出力重視型蓄電池



充電深度SOC(State of Charge) 50% ± 15-20%



ホンダ インサイト



回生エネルギー(ブレーキ、下り坂)

プリウスワゴンではリチウムイオン電池採用



トヨタ プリウス

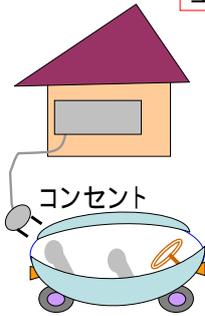
プラグインハイブリッド車 PHEV (Plug in Hybrid Electric Vehicle)

出力およびエネルギー密度
重視型蓄電池



リチウムイオン電池で約20km走行
充電 200Vで100分、100Vで3時間

2014年プリウスPHEVに



夜間電力で充電



短距離は電池走行

SOC 90% ~ 50-30%

長距離はハイブリッド走行

SOC 50-30%以下

電気自動車 EV (Electric Vehicle)



iMiEV

車名	iMiEV(三菱)	リーフ(日産)
販売価格	398万円(実質284万円)	376万円(実質299万円)
定員	4名	5名
最高速度	130km/h	140km/h
航続距離	160km	160km
モーター最高出力	47kW	80kW
総電圧	330V	345V
電池電力量	16kWh(50Ah × 88セル)	24kWh(35Ah × 192セル)

エネルギー密度重視型蓄電池

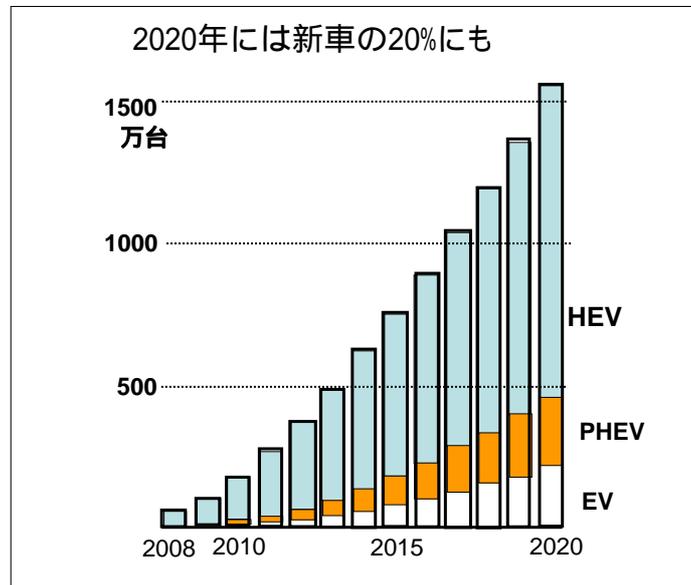
SOC 100%(満充電状態)から使用

テスラロードスター (トヨタ、パナソニックが資本参加)
10万ドル

パソコン用リチウムイオン電池6841本使用
(69並列、99直列) 53kWh
航続距離 394km、最高速度230km/h
モーター 185kW

HEV、PHEV、EVの市場予測

17



蓄電池がよくなると、どうなるのか

18

蓄電池の出力、エネルギー密度*向上

HEV	出力向上、燃費向上
PHEV	夜間充電による走行距離 長くなる
EV	走行距離が伸びる

蓄電池がキーテクノロジー

* 重量エネルギー密度 Wh/kg 体積エネルギー密度Wh/L

自動車用蓄電池に求められる特性

高エネルギー密度

航続距離延長、電池軽量化、小型化

高出力密度 (W/kg)

HEV、PHEVの電池軽量化、小型化

低コスト

安全性

耐久性 (10年以上)

劣化抑制

電気自動車 (EV) の課題

航続距離の延長

充電インフラの整備

充電時間の短縮

電池の低コスト化

電池の安全化

大型自動車への対応

3. 蓄電池の現状と課題

リチウムイオン電池の特長

1. エネルギー密度が高い 小型、軽量化
2. 作動電圧が高い 高出力
3. 層状電極のため充放電で電極の形状変化が小さい
長寿命化
4. メモリー効果がない(継ぎ足し充電可能)
5. 電極材料の選択範囲が広い
高容量化、高電位化、低価格化が可能

現状の性能

放電電圧 3.7V 充電電圧 4.2V
 エネルギー密度 70-100Wh/kg
 出力密度 1800W/kg (HEV, PHEV用)、 400W/kg (EV用)
 コスト 約10 万円/kWh

21

リチウムイオン電池の課題

コストが高い
安全性に劣る(可燃性電解液)
充放電を監視する保護回路が必要
 上限充電電圧(過充電防止)
 下限放電電圧制御(負極の集電体金属溶出)
満充電状態や高温で劣化しやすい

充電電圧を上げ過ぎると過充電状態となり、
熱暴走事故や劣化の原因

- (1) 電解液が酸化分解し発熱
- (2) 負極上に金属リチウム析出
- (3) 電極の構造変化 容量低下、出力低下

22

リチウム資源

産出地 南米(チリ、ボリビア、アルゼンチン)、中国、など
年産量 約2.3万トン(2008年)
資源量 約3千万トン(塩湖かん水 2/3、鉱石 1/3)

日本の夜間電力(7億kWh)をリチウムイオン電池で貯蔵するには
リチウム6万トン必要(年産量の2倍以上)*
世界の年産7000万台の車をEV(リーフタイプ)にするには
リチウム 13万トン/年 必要*



ナトリウムイオン電池が注目され出した

利点 Na資源豊富、安価
欠点 理論容量 リチウムの半分以下
 電圧 リチウムイオン電池より0.33V低い

* 岡田ら、Electrochemistry, vol.77(2011)より引用

電池構成材料の現状と課題

23

現在用いられている材料と課題

負極 カーボン … 高容量化

正極 LiCoO_2 … 高容量化、低価格化(資源)

電解質 炭酸エステル … 難燃化、高電位化

セパレータ 多孔質ポリオレフィン … 低価格化、耐熱化

正極材料の現状と課題

24

車載用に使われている正極

三元系 $\text{LiMn}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{O}_2$ Coの資源、コストの問題

マンガン系 LiMn_2O_4 電解液への溶出の問題

材料系	信頼性・安全性向上	高容量化	長寿命化	低コスト化
Ni-Co酸化物				
Ni-Mn酸化物				
LiFePO_4		×		
Li_2MO_3				
Li_2S				

メリットあり

開発の要素あり

× 解決は困難

4. 蓄電池技術の開発動向

(27)

次世代自動車用電池の将来に向けた提言
(2006 経済産業省)

3つのフェーズで開発を進める

改良フェーズ 2010年 高性能ハイブリッド自動車の量産化
用途限定コンピューター型電気自動車



先進フェーズ 2015年 プラグインハイブリッド自動車の量産化
コンピューター型電気自動車の量産化



革新フェーズ 2030年 本格的電気自動車の量産化

次世代自動車用蓄電池技術開発ロードマップ2008

(28)

2009.6公開

蓄電池		2008	2010	2015	2020	2030年頃	2030年以降
出力重視型 (HEV, PHEV用)	エネルギー密度 (Wh/kg)	70	70	100	200		
	出力密度 (W/kg)	1800	2000	2000	2500		
	コスト (万円/kWh)	20	10	3	2		
	PHEVのEV走行距離(km)		(23)		30		
エネルギー密度重視型 (EV用)	エネルギー密度 (Wh/kg)	100	100	150	250	500	700
	出力密度 (W/kg)	400	1000	1200	1500	1000	1000
	コスト (万円/kWh)	20	10	3	2	1	0.5
	走行距離 (km/80kg電池)	80	80	120	200	480	670
	電池コスト (万円/kg)	180	80	36	46	40	28
蓄電池		リチウムイオン (LIB)	先進LIB	革新LIB	革新型蓄電池		

リチウムイオン電池

NEDO (新エネルギー・産業技術総合開発機構)

次世代自動車用蓄電池技術開発 Li-EADプロジェクト(2007-2011)

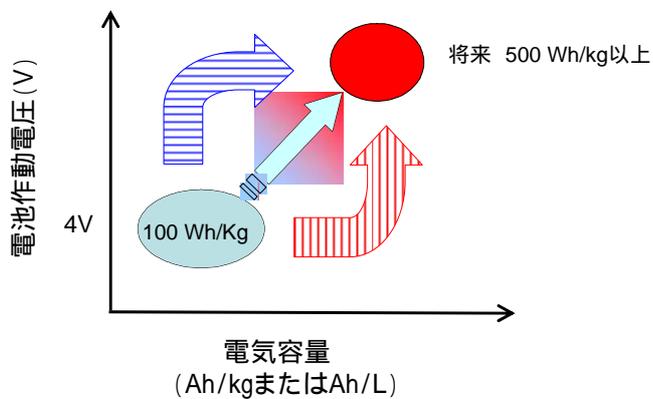
(Excellent Advanced Battery Development) 予算総額110億円

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. 要素技術開発
0.3KWh級モジュール | 2015年を目途に
100Wh/kg(現行70Wh/kg), 120Wh/L
2000W/kg
10年以上、充放電効率95%以上
4万円以下/kWh |
| 2. 次世代技術開発 | 700Wh/kg以上 (2030年目標値)
500Wh/kgを見通せる性能(終了時) |
| 3. 基盤技術開発 | 加速寿命診断法、安全性試験法
劣化要因解明とその抑制策 |

蓄電池の高エネルギー密度化

エネルギー密度Wh = VAh

電極の容量増大 または 作動電圧上昇



31

静岡大学におけるLi-EADプロジェクト研究

次世代技術開発

「ホウ素化合物を用いた高性能液体電解質の研究開発」

藤波達雄(特任教授)、入山恭寿(准教授)、田中康隆(准教授)

新規電解液の開発: 5V級蓄電池に対応(5.5V以上耐電圧)、難燃性
ホウ素化合物の特性を利用した新規電解液で実現
基本性能、電極との界面の検討 材料設計



プレスリリース

日経産業、日刊工業、化学工業日報
などに掲載

32

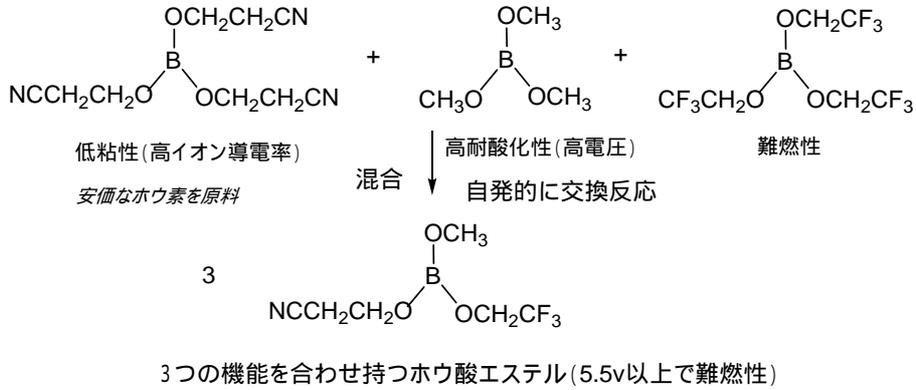
次世代5V級リチウムイオン電池用電解液を開発 - 電気自動車の性能、飛躍的に向上へ -

平成21年11月24日

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
国立大学法人 静岡大学

NEDOの次世代自動車向け蓄電池開発プロジェクトの一環として静岡大学工学部藤波達雄特任教授らは次世代の5V級蓄電池に使用可能で、かつ難燃性の高性能電解液を開発しました。この成果を活用することによってより高性能、安全、低コストな電気自動車等用リチウムイオン電池の開発が期待されます。

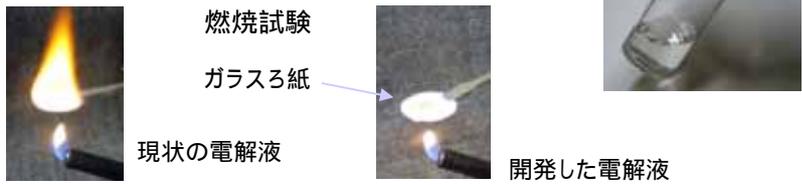
ホウ酸エステル溶媒を用いた電解液



2011.3 Electrochemistry論文賞

炭酸エステル溶媒と混合しても5.5V以上の安定性確保

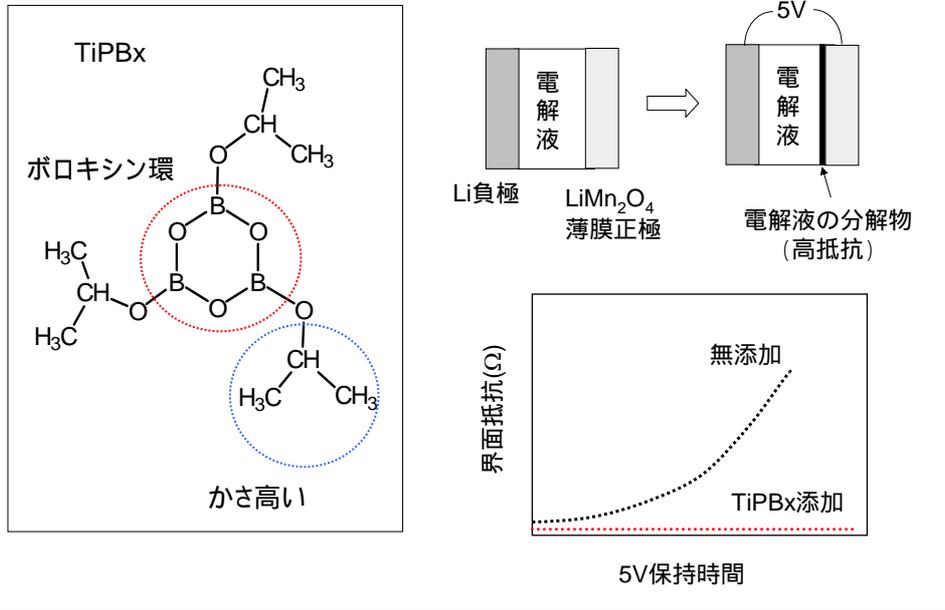
開発した電解液 (ホウ素化合物溶媒 + リチウム塩)



電解液の特性比較

性能	現状の有機電解液	イオン液体	開発した電解液
耐電圧	~ 4.5V	4 ~ 5V	5.5V
安全性	可燃性	難燃性	難燃性
リチウムイオン輸率	~ 0.3	~ 0.03	0.6
コスト	安価	高価	安価

新規ホウ素化合物添加剤の開発



5V級電池の充放電試験



次世代高電圧蓄電池

- 高電圧化
- 高エネルギー密度化
- 急速充電
- 直列電池使用数を減らせる
- 長寿命化
- 高電圧での劣化抑制
- 安全化
- 高電圧での熱暴走抑制

第51回電池討論会

37

2010年11月9日-11月11日

名古屋市愛知県産業労働センター「ウィンチあいち」

参加登録者数 2,399名(海外152名)+招待 = 約2,500名
教育・研究機関 672名(学生321名)(28%)
企業等 1,723名 (72%)

蓄電池	399 件
リチウム電池	363 件
正極(103)、負極(73)、電解質(73)	
全固体(21)、劣化・反応解析(59)	
大型・評価(34)	
Na,Mg,Ca電池	11 件
金属-空気電池	25 件
キャパシター	25 件
燃料電池	134 件
その他電池	23 件

重複含む

5. 将来の蓄電池と車社会

38

NEDO 革新型蓄電池先端科学基礎研究事業 (RISINGプロジェクト)

平成21年度から7年間

平成21年度予算 30億円(合計210億円)

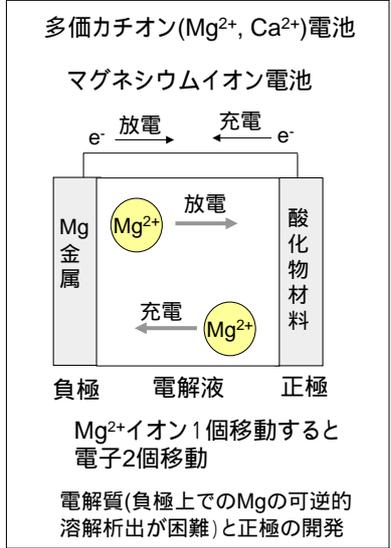
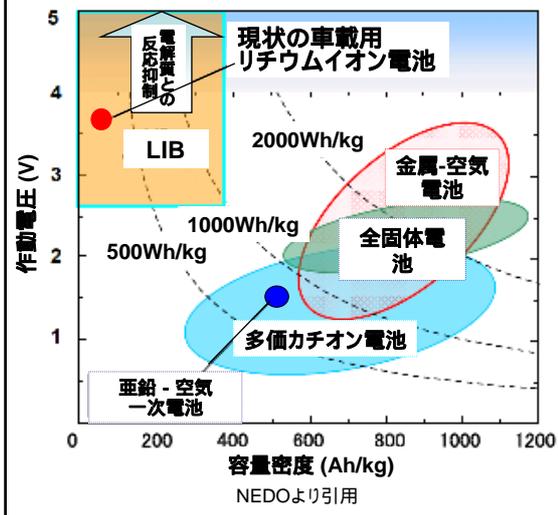
京都大学(代表 小久見教授)を中心とするコンソーシアム

世界最先端の分析・解析技術を開発して電池の寿命劣化等、
基礎的な反応メカニズムを解明

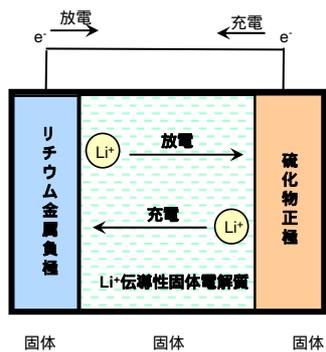
リチウムイオン電池の一層の信頼性向上や現行水準の5倍
以上のエネルギー密度を持つ従来にない蓄電池の実現を図
り、我が国の蓄電池開発技術の競争力を強化し、蓄電立国
実現に向け大きく貢献

革新型蓄電池

一充電で500km以上の走行を可能にする電池

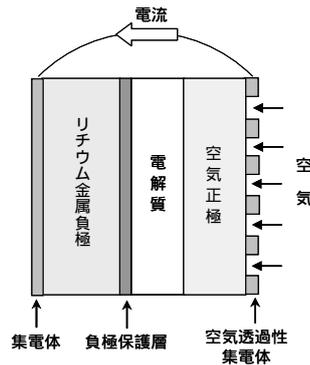


無機固体リチウム電池



無機固体電解質は燃えない
硫化物正極、リチウム金属負極ともに容量大

金属 - 空気電池



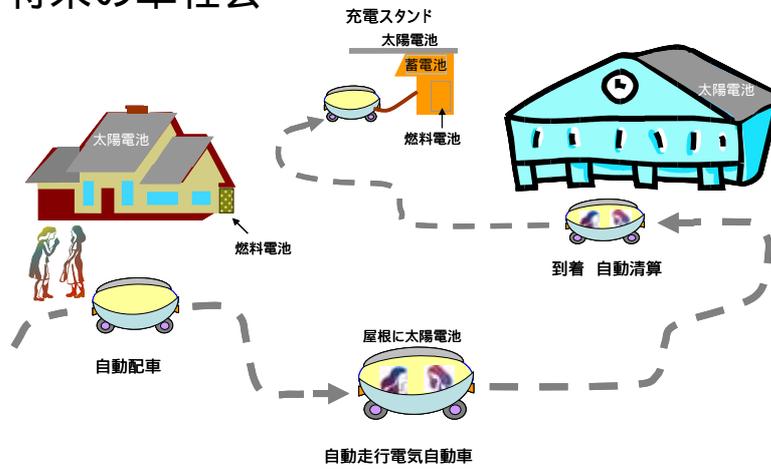
金属	電圧 (V)	エネルギー密度 (Wh/Kg)	
		充電状態	放電状態*
リチウム	2.91	11140	5200
アルミニウム	2.73	8130	4300
カルシウム	3.12	4180	2990
亜鉛	1.65	1350	1090

* 放電すると金属は金属酸化物となって重くなるため、エネルギー密度は小さくなる。

将来の車社会

静岡新聞 2009.3.8 藤波

41



電気自動車

高いエネルギー効率、
排気ガスなし、騒音なし
自動化しやすい
走行中の充電も可

公共自動走行システム

高い稼働率 …… 台数削減 製造エネルギー削減
自動走行 …… 無事故、渋滞回避、免許不要
ハンドルなし …… 小型化、運転不要
駐車場不要 …… 土地活用
運転手なし …… 割安料金

まとめ

電池を制す者世界を制す！

42

- ・ 2030年頃までは、リチウムイオン電池またはその発展型が主流
- ・ コストは、2020年に1/10に(2008年比較)
- ・ 自然エネルギー利用促進とスマートグリッド構築に定置型蓄電池
- ・ PHEV、EVの一充電あたりの走行距離は2倍以上
- ・ 2030年頃以降は、革新型蓄電池登場 ガソリン車並の走行距離
- ・ NEDOロードマップの実現には、最先端の電池技術開発が必要

静岡大学工学部での蓄電池の研究

物質工学科

藤波 特任教授 高性能電解液 ポリマー電解質

田中 准教授 高性能電解液

入山 准教授 電極界面解析、全固体電池

嵯峨根 助教 電極界面解析、マグネシウム電池

NEDO研究
グループ

富田 准教授 無機電解質、正極材料

電気電子工学科

以西 教授 マンガン系正極

浜松工業会の若い会員へのアドバイス

