

蓄電技術

— 月探査のために —

月探査に関する懇談会

2009年11月18日

京都大学
NEDO 小久見 善八

月探査基地の電源

昼間: 太陽電池パネル

夜間: 二次電池 or 再生型燃料電池、(360 h)

| | 無人 | 有人 |
|-----------|-----------|-----------|
| 出力(W) | 10 ~ 100 | 数k ~ 100k |
| 入力 | C/360 | C/360 |
| エネルギー-kWh | 数 ~ 数十 | 数百 ~ 数千 |
| 熱量 | 1 ~ 2 W * | 数百 W |

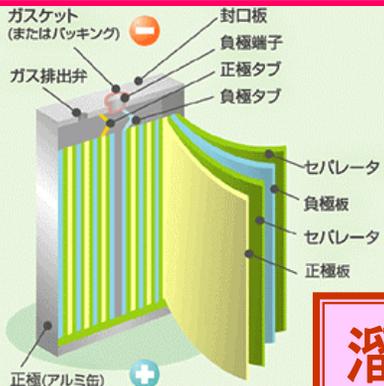
*無人でのコンポーネント・レベルの保温に必要な熱量

燃料電池の効率: ~60%程度で後は熱

LIB: 効率 > 95%

二次電池と再生型燃料電池による蓄電

リチウムイオン電池



電力

放電

充電

溜める



電力

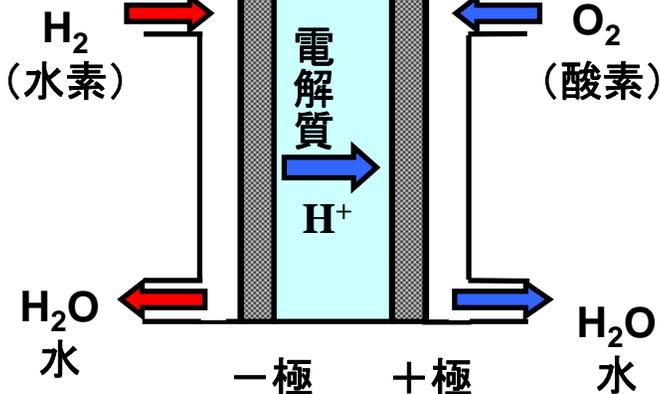
再生型PEFC

溜める

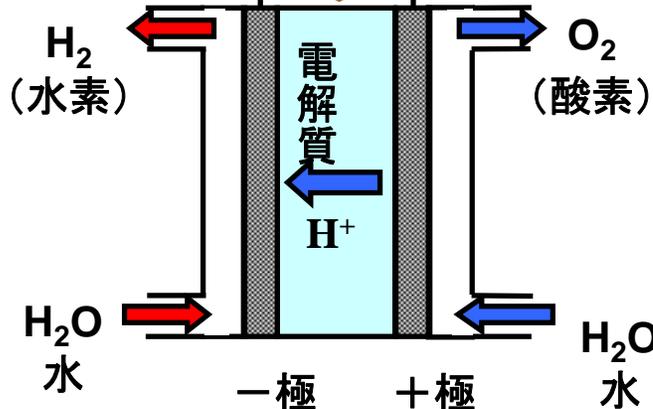
水素容器

酸素容器

電力



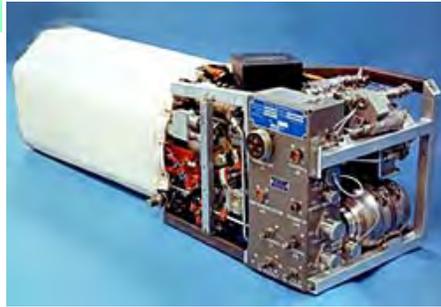
燃料電池発電



水電気分解

効率 < 70%

蓄電池と燃料電池



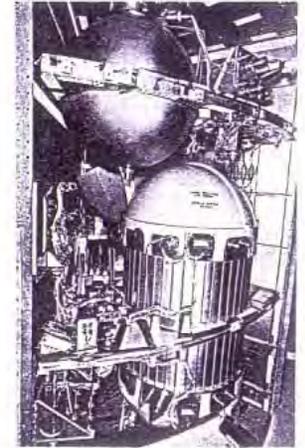
Space shuttle FC



PEMFC (日本)



Apollo アルカリ

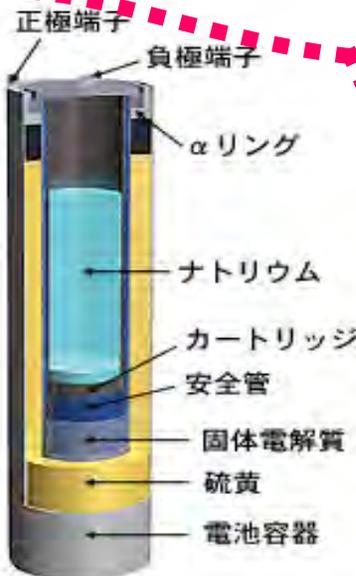


Apollo FCタンク

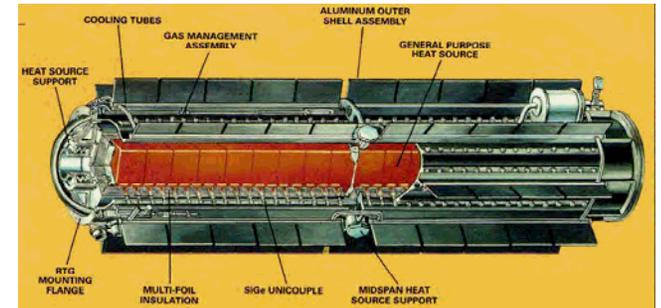
衛星用LIB (GS-YUASA)



はやぶさ用LIB (古河)



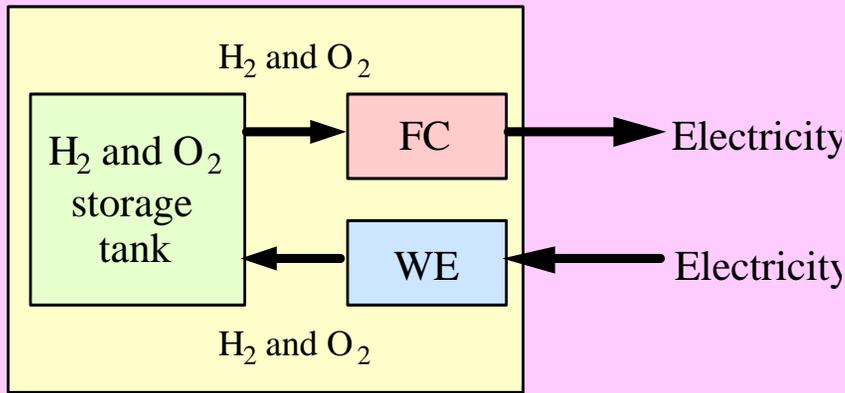
Na-S 電池 (LL用)



原子力電池 (プルトニウムを使用)
(ガリレオ用)

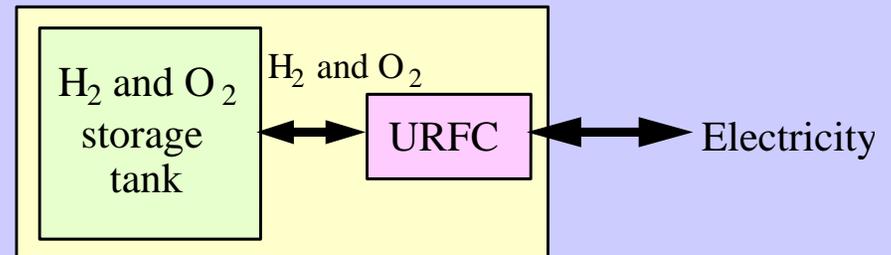
再生型燃料電池と 可逆型(一体化再生型)燃料電池

再生型燃料電池(RFC)



・燃料電池と水電解セルは個別

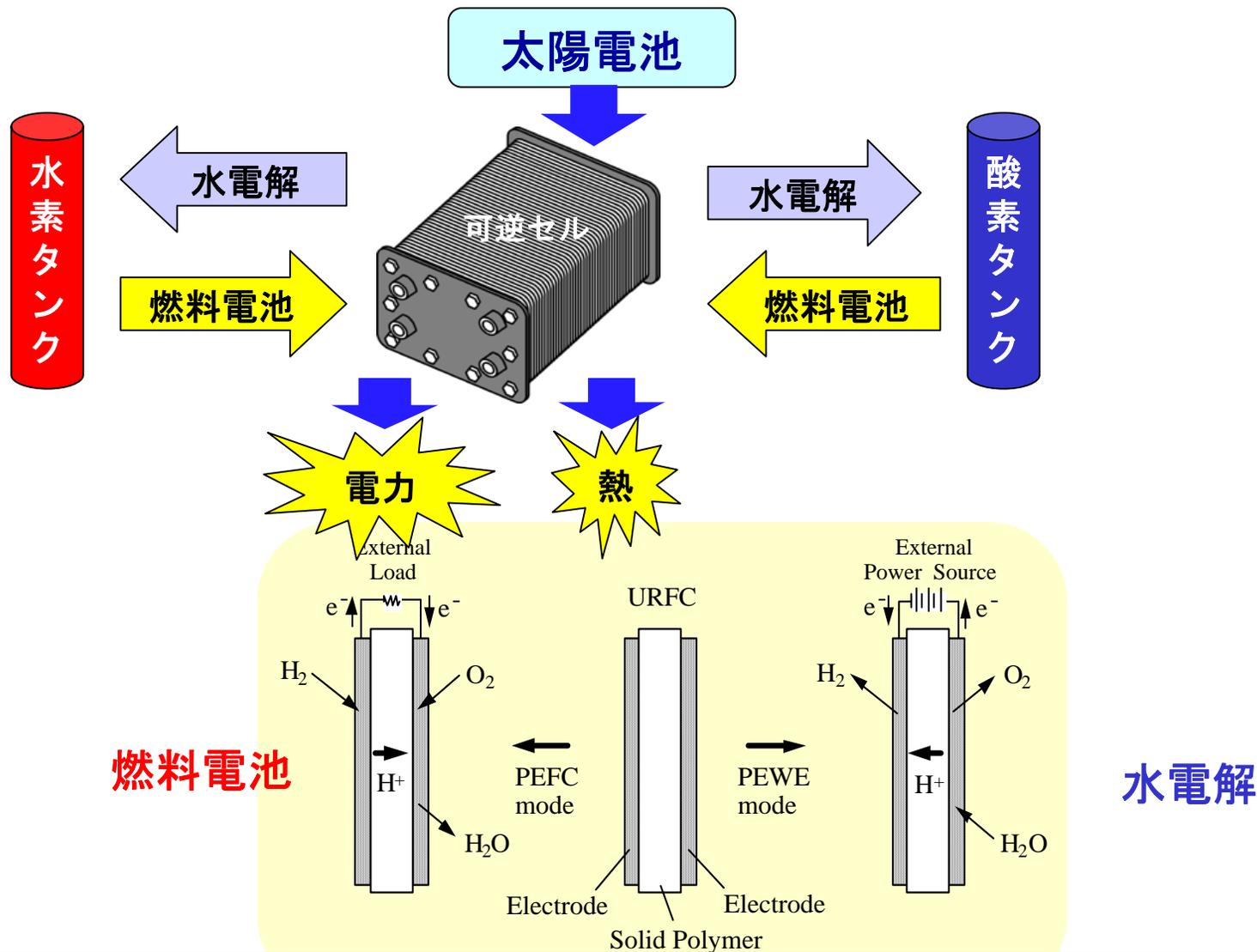
可逆(一体化再生型)燃料電池 (Unitized Regenerative Fuel Cell、 またはReversible Fuel Cell)



・燃料電池と水電解セルは一体化

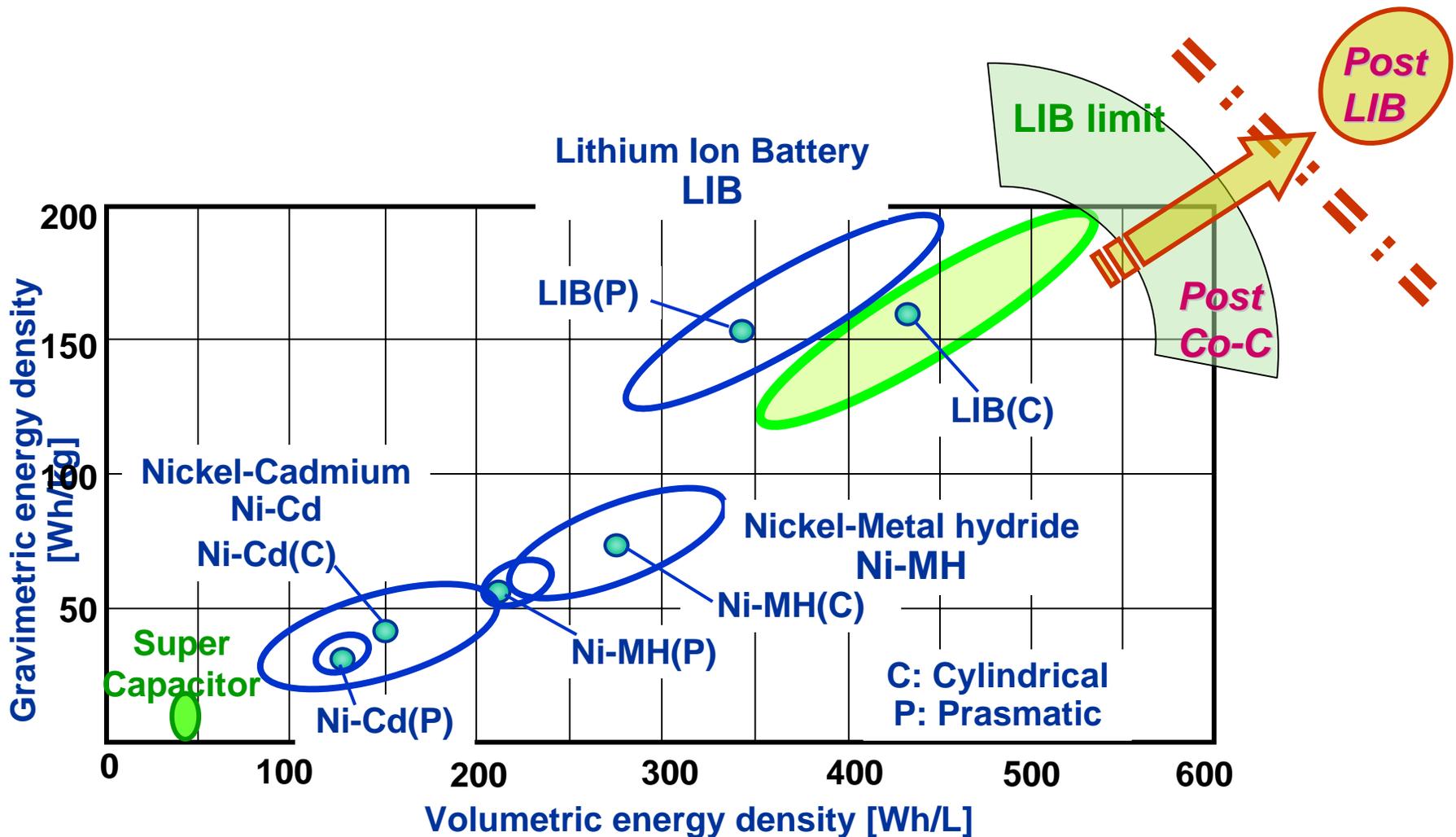
- URFCの長所: 高価な電気化学セルを1つにでき、低コスト化、コンパクト化が可能
- URFCの短所: 1つのセルで酸化還元を安定・高効率に行えるセルの設計が困難

可逆型(一体化再生型)燃料電池(URFC)



可逆型燃料電池では燃料電池・水電解セルの両者の運転が可能

蓄電池の性能の現状



Energy density of rechargeable batteries, small size and high energy type

各種燃料電池（再生型燃料電池の候補）



| Type | アルカリ FC | PEMFC | SOFC |
|-------------|-----------------------|--|----------------|
| Electrolyte | KOH 水溶液 | Nafion Type 膜 | Zirconia based |
| 作動温度(°C) | ~70 | 60-90 | > 800 |
| 効率(%) | 60-70 | > 60 | ~60-70 |
| 条件変動耐性 | 良 | 良 | そこそこ |
| 耐久性 | 良* | 非常に良 | 良? |
| 信頼性 | そこそこ* | 非常に良 | そこそこ? |
| 技術水準 | 宇宙用に実績有 (アポロ、シャトル) | 自動車用等でよく研究、 定置形では>20,000h 宇宙用に実績(ジェミニ) | 候補の一つ |

*アルカリによる腐食が進行するため2500時間ごとにオーバーホールを必要とする。
数値は一般的な値を示す。

各種燃料電池を可逆にするためには電極材料等の課題が多い。

二次電池と再生型燃料電池の性能

| | リチウムイオン電池 | 再生型燃料電池 | | ナトリウム-硫黄電池 |
|---------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|
| | | 固体高分子 | アルカリ | |
| エネルギー密度Wh/kg* | ~300 | 450*** | —**** | (~200) |
| 温度(°C)(目安) | -20 ~ 50 | 40~80 | 80~100 | 350 |
| 効率(%)** | 95 | ~50 | ~50 | 60~85 |
| 課題 | エネルギー密度、耐久性、作動温度、発熱なし、衛星で実績 | 酸素・水素の貯蔵、水、宇宙で実績、効率低下分が熱に | 酸素・水素の貯蔵、水、宇宙で実績、効率低下分が熱に | 輸送、安全性、高温保持、電力貯蔵で実績 |

* エネルギー密度は周辺機器のスペックによって大きく異なる。

** 効率は運転モード、温度制御、保温、環境によって大きく異なる。

寿命は運転環境、運転モードで著しく異なる。

*** 日本が成層圏プラットフォーム飛行船プロジェクトにおいて設定している15kW級RFCの目標値。

**** シャトル用アルカリ形燃料電池は約1200 Wh/kg。ただし再生型燃料電池への適用実績はない。

月探査のための蓄電デバイスに対する要求

| | 月面(無人) | 月面(有人) |
|-----------|--------------------|----------------------------------|
| 温度 | -160 ~ 120°C | 22°C (nominal値) 18~27°C (上下限) |
| 昼／夜 サイクル | 15日／15日* | 15日／15日* |
| サイズ | 数～数十 kWh/System | ～数百kWh |
| パワー密度 | 低出力 | ～数十 kW |
| 寿命 | 1～3年 | 5～10年 |
| エネルギー密度** | 150～200 Wh/kg | 300～500 Wh/kg |

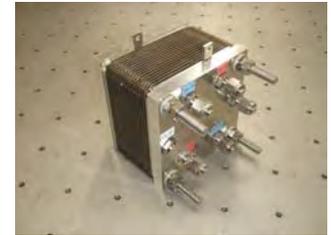
*中／低緯度域を想定。昼／夜の周期は緯度や地形により異なる。

**Minimum requirementで、エネルギー密度は高いほどよい。

蓄電池と再生型燃料電池の課題

| | 蓄電池(LIB) | 再生型PEFC |
|------|---|---|
| 作動温度 | 高温と低温(耐久性) 反応速度 電解質(広い温度域) 出力 | 高温と低温、 水と湿度(凝固) 高圧作動(効率、耐久性) 低効率、クロスオーバー |
| 蓄電時間 | 長時間蓄電 長時間放電 | 大容量水素・酸素タンク(酸素-水素でよいか) |
| その他 | 大容量と寿命 (>200 Wh/kg) 水、酸素がない 熱が出ない 保温・輸送(Na-S) | 超高圧電解-発電、 世界的に実績が少ない、 日本では先行した研究を実施中、熱の利用、 放熱・保温 |

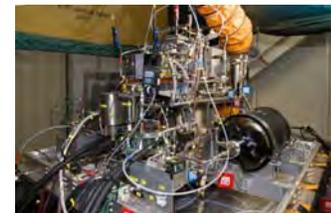
100 W 級RFC



水素タンク



35MPa (5,080psi)



月面電池技術の展開



月面蓄電池



低温
高温
長周期
大容量(高エネルギー密度)
高信頼性
長寿命



-60~90°C

ある程度保温等をするとして

高信頼性
大容量
長寿命

4週間長周期

長時間高い充電状態→劣化



-35°C~90°C

大型電池の運搬
蓄電池の保温・放熱

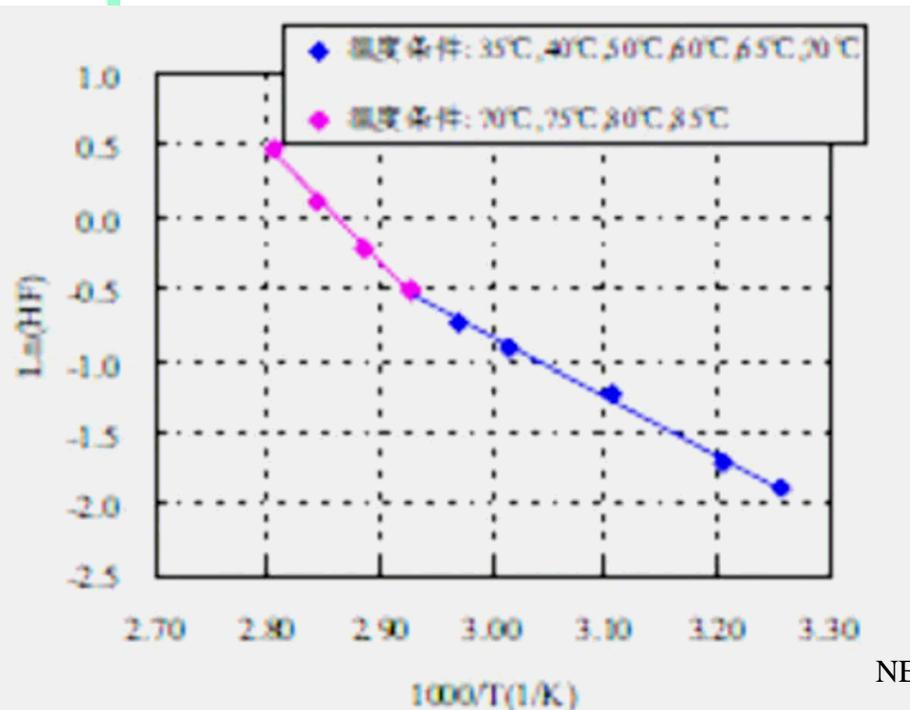
1日~数週間、遠隔地

-20~45°C(長期)
-20~60°C(短期)

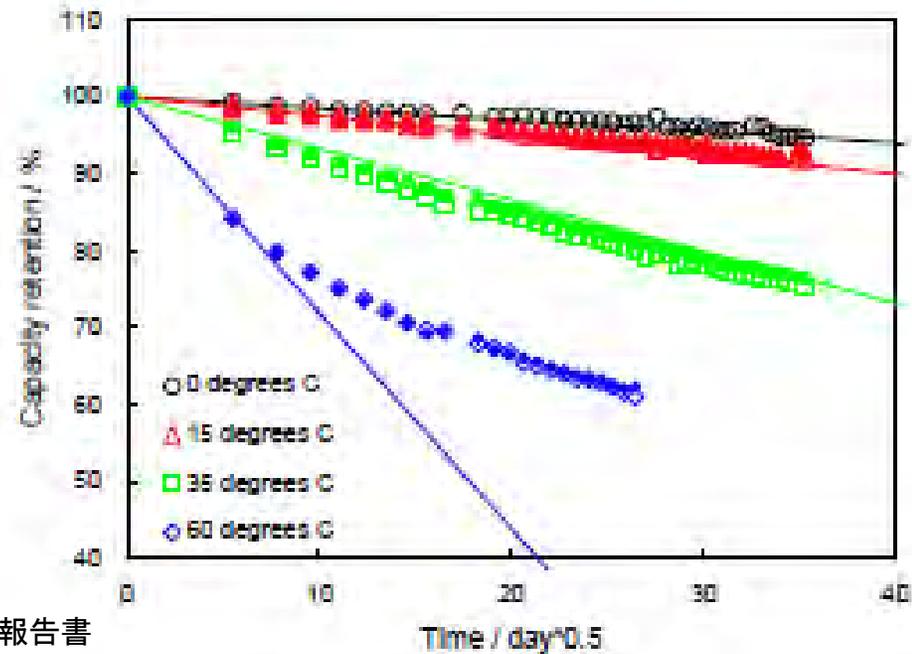
数分~1日



リチウムイオン電池の劣化



NEDO報告書



LIBの劣化は最大・最難課題

LIBの劣化

- 時間(t) の1/2乗で劣化する
- 温度の影響大
- 温度が高くなると劣化モードが変わる
- 一ヶ月周期のような長時間サイクルの影響は未知。
- 低温劣化(凝固を含む)は調べられていない