

「安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発」

事後評価 (2011年度～2015年度 5年間)

プロジェクトの概要 (公開)

2016年11月22日

NEDO スマートコミュニティ部 蓄電技術開発室

発表内容

評価軸の中項目

ポイント、内容

I. 事業の位置づけ・必要性

- (1)事業目的の妥当性
- (2)NEDOの事業としての妥当性

- ・内外の技術動向
- ・国際競争力の状況
- ・エネルギー需給動向
- ・市場動向及び政策動向
- ・NEDOが関与する必要性
- ・実施の効果

II. 研究開発マネジメント

- (1)研究開発目標の妥当性
- (2)研究開発計画の妥当性
- (3)研究開発の実施体制の妥当性
- (4)研究開発の進捗管理の妥当性
- (5)知的財産に関する戦略の妥当性
- (6)中間評価への対応

- ・技術動向、市場動向を踏まえた目標設定
- ・スケジュール及び研究開発費
- ・実施者の技術力と事業化能力
- ・進捗把握と情勢変化への対応
- ・知的財産戦略
- ・中間評価結果への対応

III. 研究開発成果

- (1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義
- (2)成果の普及
- (3)知的財産権等の確保に向けた取り組み

- ・最終目標の達成度
- ・研究開発成果
- ・論文等の対外発表
- ・成果の普及の取り組み
- ・知的財産権の出願実績

IV. 実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し

- (1)成果の実用化・事業化に向けた戦略
- (2)成果の実用化・事業化に向けた具体的取り組み
- (3)成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化戦略
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーン
- ・実用化・事業化の見通し

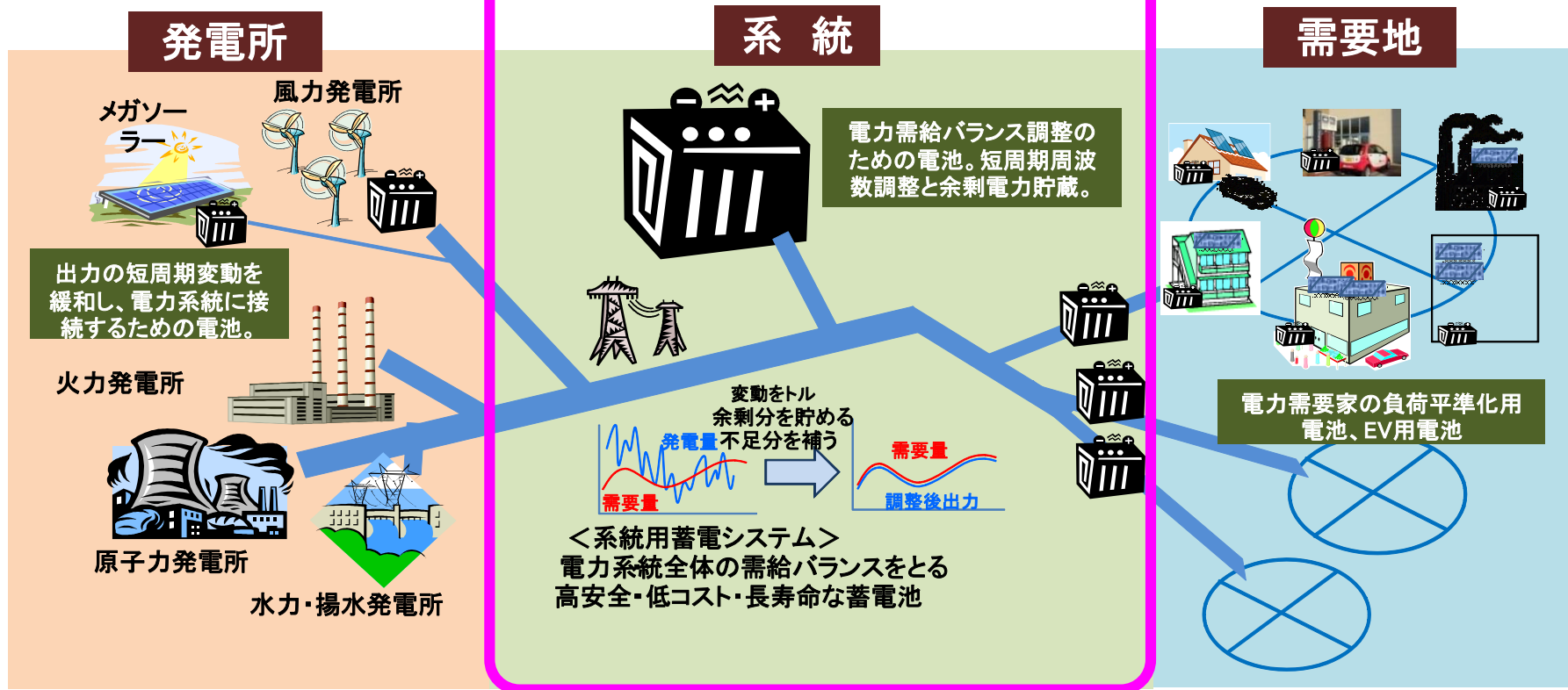
事業の位置付け

- ▶ 太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーの大量導入は、出力や発電量が天候に左右され電力系統が不安定化する
るので、短周期の周波数変動に対する調整力確保や長周期の余剰電力貯蔵などの系統安定化の対策が不可欠。
- ▶ 本プロジェクトでは、集中あるいは分散して電力系統に接続する低コスト、長寿命で安全性の高い大型蓄電システムの研究
開発を実施し、実用化の見通しを得る。

【系統連系円滑化蓄電システム技術開発】
(H18～H22)

【安全・低コスト大規模蓄電システム技術開発】
(H23～H27)

【次世代エネルギー・社会システム実証】
(H22～H26)
【スマートコミュニティ実証プロジェクト】



事業の目的と研究開発項目

本プロジェクトの目的

- 本プロジェクトは、「余剰電力貯蔵」及び「短周期変動調整」を用途として数十 MWh ~ 数 GWhの系統安定化用蓄電システムを想定し、低コスト化、長寿命化、安全性を追求した蓄電デバイス及び蓄電システムの開発、及び蓄電システムの安定運用のための劣化診断技術の開発によって、我が国の再生可能エネルギーの利用拡大と蓄電分野における国際競争力向上に貢献することを目的とする。

研究開発項目①「系統安定化用蓄電システムの開発」(2/3助成)

研究開発内容

余剰電力貯蔵用途 及び/又は 短周期変動調整用途向けに

- ・低コスト化、長寿命化、安全性確保のための要素技術開発
- ・国内外の実電力システムにおける系統安定化効果の実証試験

実施者

7企業グループ

- ・リチウムイオン電池(3グループ)
- ・鉛電池/リチウムイオンキャパシタ ハイブリッド(1グループ)
- ・ニッケル水素電池(1グループ)
- ・フライホイール(2グループ)

研究開発項目②「共通基盤技術」(委託)

研究開発内容

高価な測定機器を用いることなく、蓄電池の運用中に測定可能な劣化診断技術開発

実施者

2大学








「系統安定化用蓄電システムの開発」の概要

開発目標

- システム効率80%以上で寿命20年以上相当
- 2020年度に余剰電力貯蔵用として2万円/kWh以下、短周期変動調整用として7万円/kWh以下
- 予期せぬ誤動作・内部短絡等に対して安全性を担保

実証試験

- 国内外の実電力系統に設置・運用することで、その蓄電システムの系統安定化効果を実証
- 実証試験の中で、大規模蓄電システムの輸送・据付、現地系統への接続、蓄電システム運用等のノウハウを蓄積することで、事業化への道筋をつける

| 実施者 | 実証サイト | 蓄電システム | 実証機 | 電力会社 | 運転開始 | 実証目的 |
|---|---|-------------------------------------|--|------------------------------|---------|-----------------------------|
| 日立製作所 日立化成 | 伊豆大島  | 鉛電池/ リチウムイオン キャパシタ のハイブリッド | 1.5MW/8MWh  鉛電池 LIC | 東京電力 | 2015年6月 | 再エネの短・長周期変動抑制 DGの焚き減らし |
| 三菱重工業 | 英国 オークニー 諸島  | リチウムイオン 電池 | 2MW/0.8MWh  | 英国 SSE | 2013年8月 | 系統安定化 周波数調整 (2016年5月より) |
| 東芝 | 米国 オハイオ州  | リチウムイオン 電池 | 2MW/0.785MWh  | 米国 Duke Energy | 2015年1月 | 周波数調整 |
| | スペイン マドリッド 市郊外  | リチウムイオン 電池 | 0.5MW/0.776MWh  | スペイン Gasnatural Fenosa | 2015年9月 | 配電線負荷の電力変動平滑 化 |
| 川崎重工業 | 南大東島  | ニッケル水素 電池 | 300kW/130kWh  | 沖縄電力 | 2013年4月 | 再エネ比率の高い離島の周波 数及び電圧変動安定化 |
| 鉄道総研 クボテック 古河電工 ミラプロ 山梨県企業局 | 山梨県 米倉山  | フライホイール | 300kW/100kWh  | 東京電力 | 2015年9月 | PVの出力変動抑制 |

「共通基盤研究」の概要

劣化診断の必要性

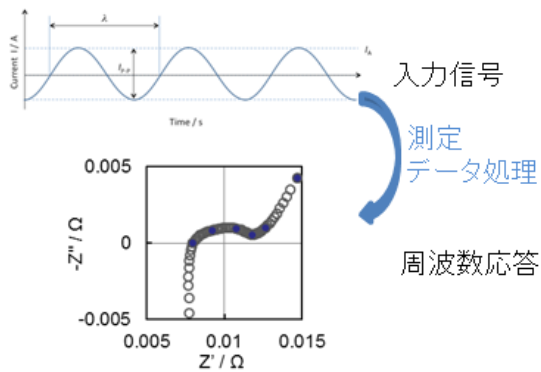
- 大型蓄電システムの実用化に向けて、蓄電池の安全性・信頼性・寿命を担保する劣化診断技術は極めて重要。
- 蓄電池運転中に診断可能で、精度とコストのバランスのとれた診断技術が開発できれば普及に展望が広がる。

従来の技術

専用の周波数応答解析装置を用いて、蓄電池に様々な周波数の正弦波を入力し、インピーダンスを測定。必要に応じて等価回路とフィッティングし、各成分由来のインピーダンスを分離。

高精度な診断が可能だが、システムコストは高価で※)、蓄電池の運転を停止して診断する必要がある。

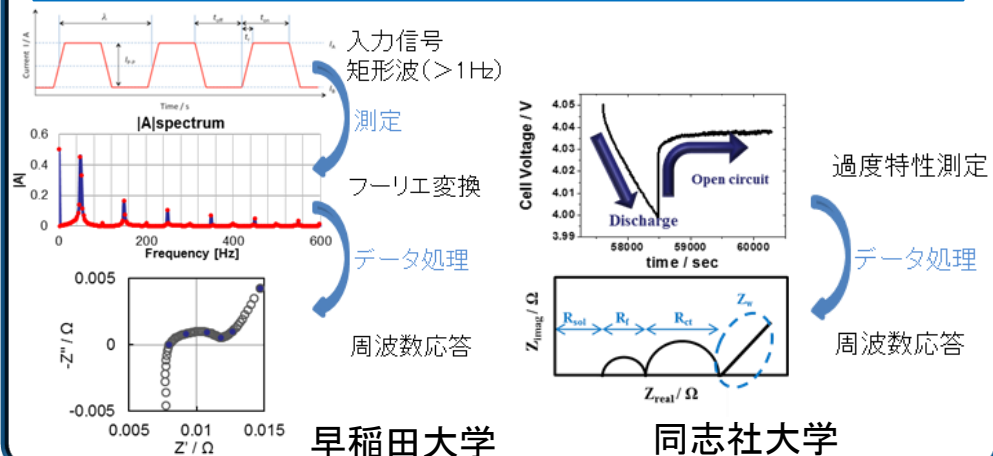
※) 同一種電池に対しては成分分離の必要がないこと等により、測定時間短縮、コスト低減のため、通常測定周波数を固定して運用されている。



開発する技術

蓄電システムのパワーコントローラを用いて、蓄電池の入出力信号に矩形波を重畳し、インピーダンスを測定(早稲田大学:下図左)、又は、外部から信号を入力せず、蓄電池稼働時の電圧・電力の過渡特性からインピーダンスを測定(同志社大学:下図右)。

必要な精度をもって、比較的安価に、蓄電池運転中に診断が可能となる。



早稲田大学

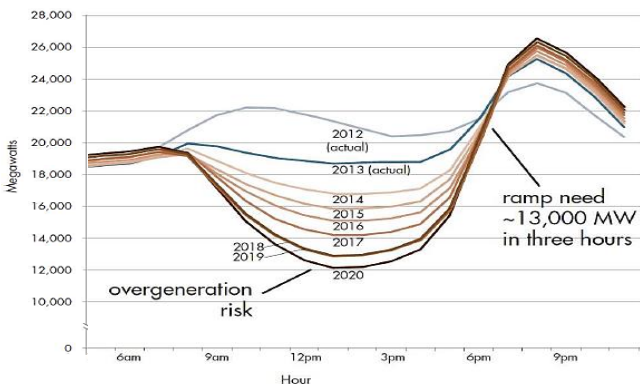
同志社大学

系統安定化のための大型蓄電システム利活用の期待

- 再生エネルギーの大量導入における系統の不安定化対策として、余剰電力、周波数変動への対策が必須。フレキシビリティを有した対策手段として大型蓄電システムの利活用が期待されている。
- 余剰電力対策では蓄電池が3.1万円/kWh以下、周波数の調整対策では18万円/kWh以下で他の対策手段と比較して、事業性が高くなる。

再エネ導入で顕在化する課題と対策

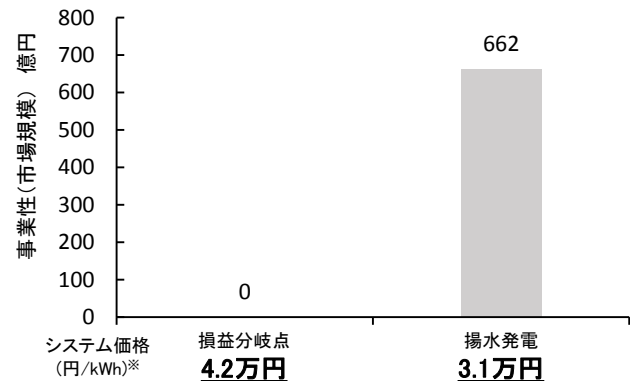
■ 余剰電力



余剰電力の発生で
電力需給バランスが崩壊。

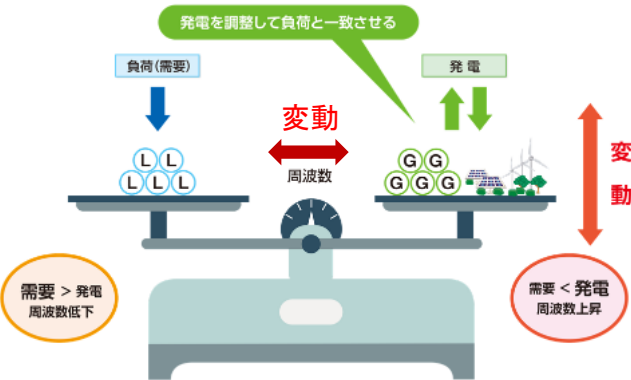


蓄電池の設置、揚水発電、
地域間連携線による調整で
対応



蓄電池が3.1万円/kWh以下になれば、揚水発電よりも事業性が高くなる

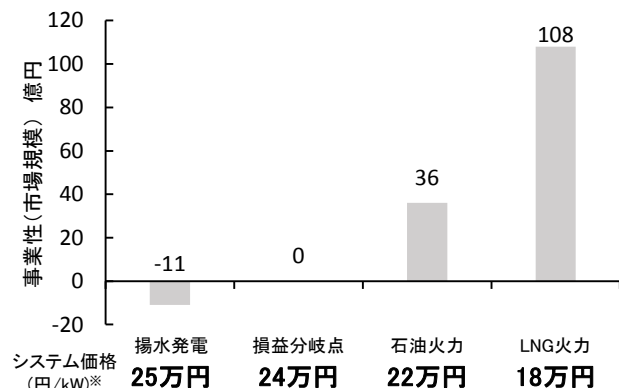
■ 周波数調整



出力変動幅拡大で
周波数調整力が不足。



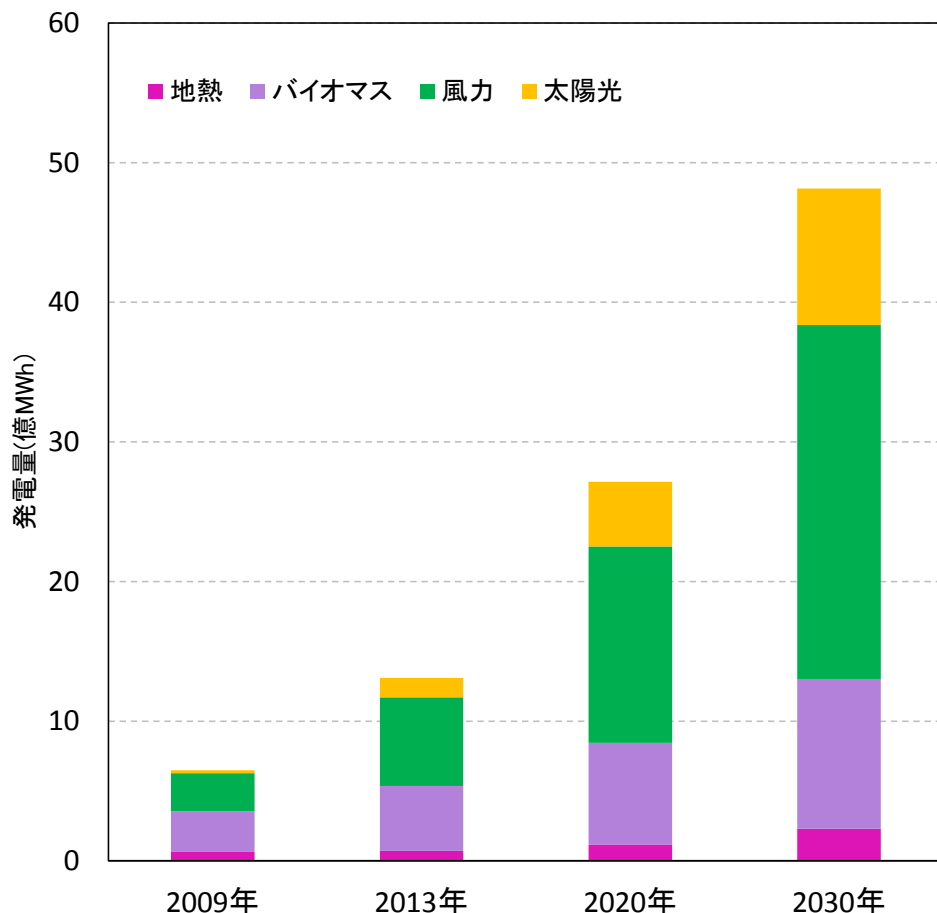
蓄電池の設置、火力・水力発電等の運用(ガバナフリー、負荷周波数制御、経済負荷配分制御)で対応



蓄電池は18万円/kWh以下でLNG火力よりも事業性が高くなる

再生可能エネルギーの導入動向

- IEAによる予測では、風力と太陽光が大きく伸び、2020年には2013年の2.4倍になり、2030年には4.5倍、発電量は約35億MWhに達する。
- 主要各国では、再エネ導入の政策に基づき、高い導入目標が立てられている。例えば、EUでは2020年に再エネ比率を20%、日本では再エネ比率を2030年に22~24%、米国は2020年に2012年に対して再エネを倍増するとしている。



世界の再生可能エネルギーの発電能力量の推移

World Energy Outlook (IEA) 2011、2015よりNEDO作成

＜主要各国の再エネ導入に係る政策＞

日本

- ・「エネルギー基本計画」(2014年)の方針に基づき、「長期エネルギー需給見通し」(2015年)を決定。
- ・総発電電力量に占める再生可能エネルギー比率を2030年までに22~24%(2015年の約2倍)にするとしている。

米国

- ・all-of-the-above energy strategy (2013年/全方位的エネルギー戦略)の中で、エネルギー自給率向上等の為、2020年に2012年に対して再生可能エネルギーを倍増するなどの戦略を推進。

EU

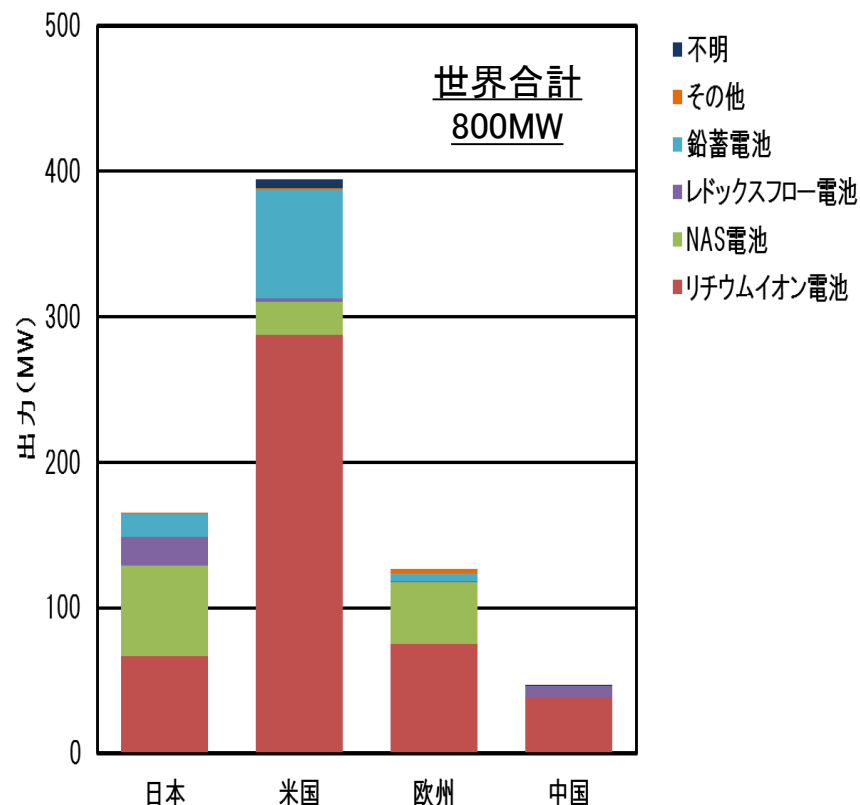
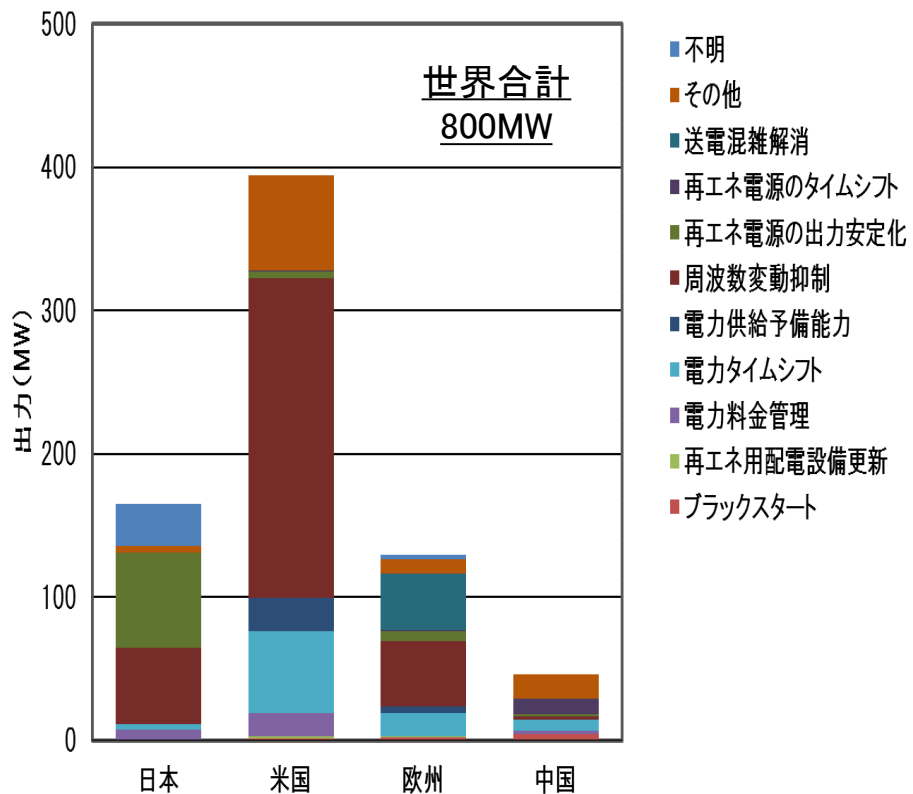
- ・2007年にEU全体の最終エネルギー消費に占める再生可能エネルギー比率を2020年までに20%にすることを決定。
- ・「環境保護及びエネルギーの国家補助に関するガイドライン」(2014年)を策定。

中国

- ・「エネルギー発展戦略行動計画(2014-2020年)」(2014年)を決定。
- ・2020年の再生可能エネルギーの発電量増強目標(設備容量)として、風力発電が2億kW、太陽光発電が1億kW。

大規模蓄電システムの導入動向：出力ベースの導入量

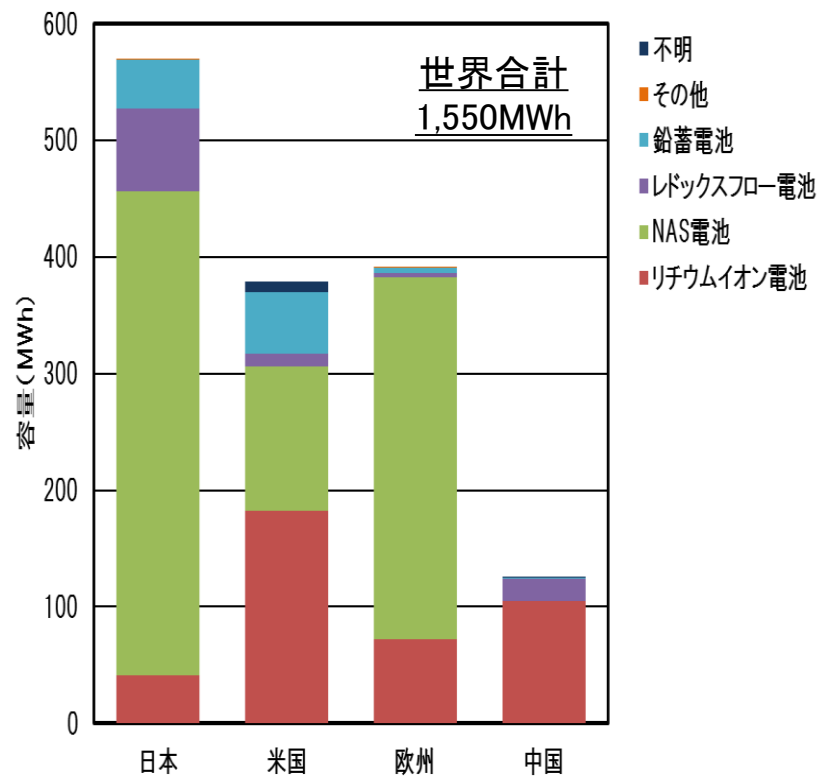
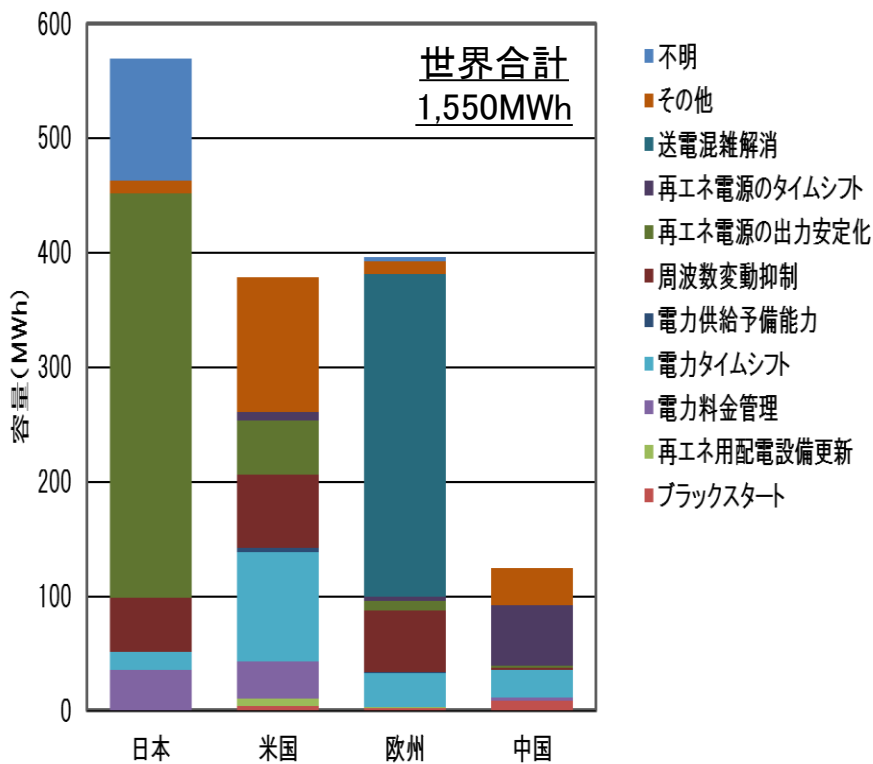
- 出力ベースで、世界全体の累計導入量は約800MW。
- 米国が395MWと最多で、周波数変動抑制向けの導入が多く、リチウムイオン電池が287MW、鉛蓄電池が75MW。
- 日本は165MWで、再エネ電源の出力安定化、周波数変動抑制向けの導入が多く、リチウムイオン電池が67MW、NAS電池が62MW。
- 欧州は126MWで、周波数変動抑制、送電混雑解消向けの導入が多く、リチウムイオン電池が75MW、NAS電池が42MW。



大規模蓄電システムの累計導入量：2015年まで（左：用途別、右：電池種別）

大規模蓄電システムの導入動向：容量ベースの導入量

- 容量ベースで、世界全体の累計導入量は約1,550MWh。
- 日本が570MWhと最多で、再エネ電源の出力安定化向けの導入が多く、NAS電池が415MWh。
- 欧州は390MWhで、送電混雑解消向けの導入が多く、NAS電池が310MWh。
- 米国は380MWhで、電力タイムシフト向けの導入が多く、リチウムイオン電池が182MWh、NAS電池が124MWh。



大規模蓄電システムの累計導入量：2015年まで（左：用途別、右：電池種別）

日本の大規模蓄電システムの導入動向

➤ 経済産業省による「風力系統連系量拡大実証事業」、「大型蓄電システム緊急実証事業」や環境省による「再生可能エネルギー導入のための蓄電池制御等実証モデル事業」、「離島の再生可能エネルギー導入促進のための蓄電池実証事業」により、大型蓄電システムの実証が進められている。



モジュール

4MW/1.6MWh
リチウムイオン電池システム/GSユアサ
 再エネ電源の出力安定化(吉岐・芦辺変電所)
 「平成24年度 風力系統連系量拡大実証事業」



2.7MW/6.9MWh
鉛電池システム/新神戸電機
 再エネ電源の出力安定化(風の王国)
 「平成24年度 再生可能エネルギー導入のための蓄電池制御等実証モデル事業」



電解液タンク

15MW/60MWh
レドックスフロー電池システム/住友電気工業
 周波数変動抑制&需給変動対策
 (南早来変電所)
 「平成24年度 大型蓄電システム緊急実証事業」



40MW/20MWh
リチウムイオン電池システム/東芝
 周波数変動抑制(西仙台変電所)
 「平成24年度 大型蓄電システム緊急実証事業」



34MW/238MWh
NAS電池システム/日本ガイシ
 再エネ電源の出力安定化
 (六ヶ所村二又風力発電所)

米国の大規模蓄電システムの導入動向

➤米国では、PJM、NYISOなどの独立系統運用機関(ISO)／地域送電機関(RTO)が運営する周波数調整市場において、機動的で即応性の高い蓄電池に有利な制度が制定され、リチウムイオン電池、鉛蓄電池、フライホイールなど様々なタイプの大型蓄電システムの導入が各地で進んでいる。



8MW/32MWh リチウムイオン電池システム/LG化学
(カリフォルニア州; Tehachapi Wind Energy Storage Project)



3MW/2.15MWh 鉛蓄電池システム/Ecoult
(ペンシルバニア州; Grid-Scale Energy Storage Demonstration)



31.5MW/12MWh リチウムイオン電池システム/BYD
(イリノイ州; Grand Ridge Energy Storage Project)



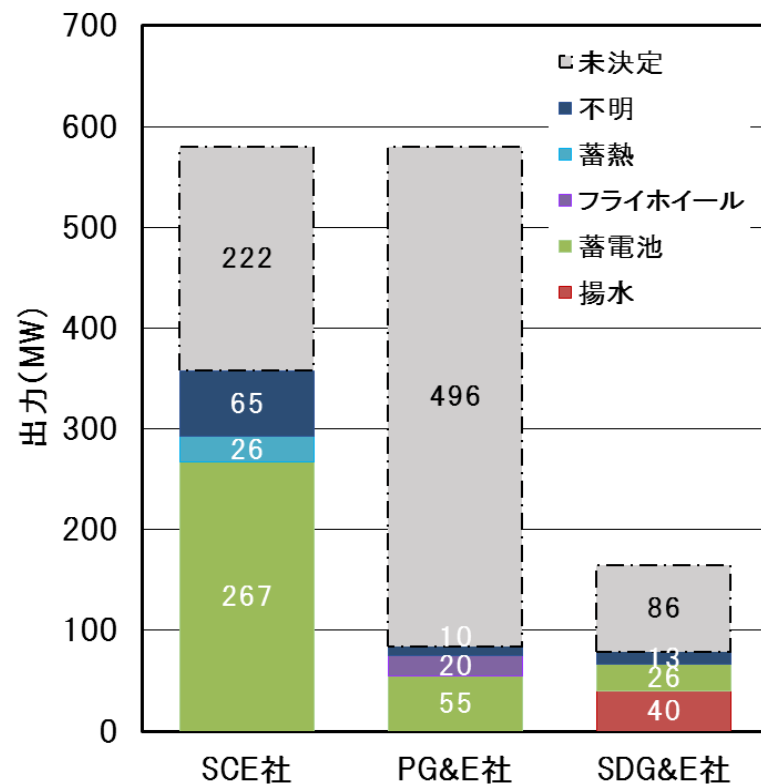
20MW/5MWh Flywheel/Beacon Power
(ニューヨーク州; Flywheel Frequency Regulation Plant)

米国カリフォルニア州での市場の立ち上がり(1)

- 米国カリフォルニア州では再生可能エネルギー大量導入に向けた系統調整力向上のため、2010年に州法 AB2514が成立し、2013年には、電気事業者3社に対し、2020年に合計1,325MWの電力貯蔵システム調達目標が設定された。
- 調達に向けた競争入札が行なわれ、522MWが契約済みとなっている。

AB2514法に基づく電力貯蔵システムの導入目標

| 電気事業者 | | 2014年まで (MW) | 2016年まで (MW) | 2018年まで (MW) | 2020年まで (MW) | 合計 (MW) |
|-------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| SCE | 送電系統 | 50 | 65 | 85 | 110 | 310 |
| | 配電系統 | 30 | 40 | 50 | 65 | 185 |
| | 需要家サイド | 10 | 15 | 25 | 35 | 85 |
| | 小計 | 90 | 120 | 160 | 210 | 580 |
| PG&E | 送電系統 | 50 | 65 | 85 | 110 | 310 |
| | 配電系統 | 30 | 40 | 50 | 65 | 185 |
| | 需要家サイド | 10 | 15 | 25 | 35 | 85 |
| | 小計 | 90 | 120 | 160 | 210 | 580 |
| SDG&E | 送電系統 | 10 | 15 | 22 | 33 | 80 |
| | 配電系統 | 7 | 10 | 15 | 23 | 55 |
| | 需要家サイド | 3 | 5 | 8 | 14 | 30 |
| | 小計 | 20 | 30 | 45 | 70 | 165 |
| 3社合計 | | 200 | 270 | 365 | 480 | 1,325 |



AB2514法に係る電気事業者の電力貯蔵システム調達状況

米国カリフォルニア州での市場の立ち上がり(2)

- SCE社が調達契約済みの267MWの蓄電システムのうち、256MWがリチウムイオン電池システム。このうち、最大容量の蓄電システムは、AES Energy Storage社より調達する100MW/400MWhシステム(Advancion™)となる。蓄電池はLG化学製で、ロングビーチのアラミス・エネルギーセンターに2021年稼働予定。他に、Stem社と85MW、Advanced Microgrid Solutions社と50MWの調達契約済み。
- PG&E社は調達契約済みの55MWの蓄電システムのうち、42MWがリチウムイオン電池システム。NextEra Energy社と30MW、Hecate Energy社と12MWを契約している。他に、Eos Energy Storage社と10MWの空気亜鉛電池システム、Amber Kinetics社と20MWのフライホイールシステムを契約している。
- SDG&E社は調達契約済みの26MWの蓄電池システムの全てがリチウムイオン電池システムで、Hecate Energy社と20MWを契約している。



AES Energy Storage社のAdvancion™

出典: AES Energy Storage HP

- ・Advancion™は、2014年にAES Energy Storage社が発表した電力事業者等を対象とした大容量の系統電力タイムシフト向けリチウムイオン電池システム。
- ・出力で数十MWから数百MWまで、時間で30分から4時間以上とニーズに応じた対応を可能としている。
- ・システムの本体・設置から運用までのトータルサービス事業を、PJM、カリフォルニア、ハワイ、プエルトリコ、イギリス、フィリピン等で開始している。

欧州の大規模蓄電システムの導入動向

- ▶ ドイツでは、「エネルギー貯蔵資金調達計画」に基づき、連邦経済エネルギー省 (BMWi)、連邦教育・研究省 (BMBF)、連邦環境・自然保護・建設・原子力安全省 (BMUB) の支援による大型蓄電システムの実証プロジェクトが進められている。
- ▶ イギリスでは、ガス・電力市場管理局 (OFGEM) による低炭素ネットワークファンド (LCNF: Low Carbon Networks Fund) で大型蓄電システムの実証プロジェクトが進められている。
- ▶ イタリアでは、電力ガス規制機関 (AEEG) の送配電ネットワークへの蓄電池導入と、送配電会社とその蓄電池を保有・運用することの認可を受けて、送配電会社による大型蓄電システムの実証プロジェクトが進められている。



10MW/10.8MWh

リチウムイオン電池システム/LG化学

再エネ電源の出力安定化

(Feldheim Regional Regulating Power Station)

「Feldheim Regional Regulating Power Station

プロジェクト」



6MW/10MWh

リチウムイオン電池システム/Samsung SDI

電力網安定運用の実証

(Leighton Buzzard site)

「Smarter Network Storageプロジェクト」



12MW/96MWh NAS電池システム/日本ガイシ

送電混雑解消

(Terna S.p.A. Flumeri Plant)

「Terna SANCプロジェクト」

中国、韓国の大規模蓄電システムの導入動向

- 中国では、主に自国製のリチウムイオン電池を用いた大型蓄電システムの実証が国営電力送電会社を中心となって進められている。
 - 国家电网公司是、2012年から河北省・張北県で風力及び太陽光発電等と大型蓄電システムを一体化させた大規模な実証試験(導入容量95MWh)を実施している。
 - 南方電網公司是、2012年から広東省・深圳でBYD製リチウムイオン電池3MW/12MWhを導入し、実証試験を実施している。
-
- 韓国の知識經濟部(MKE)は、2011年5月、韓国ESS 2020アクションプラン(K-ESS 2020)と呼ばれる電力貯蔵システム開発のロードマップを発表し、2020年までの技術開発及び実証規模の目標を、電池価格200ドル/kWh、電池寿命20年、数100MW規模の実証実施としている。
 - 韓国エネルギー技術評価院(KETEP)は、2014年～2018年の期間、送配電システムにリチウムイオン電池(54MW)、発電用として圧縮空気貯蔵CAES(100MW)を導入し、ピーク負荷軽減のための蓄電システム実証プロジェクトを実施している。
 - 韓国電力公社(KEPCO)は、2017年までに計500MWの周波数調整用蓄電システムを国内に導入する計画で、済州島のスマートグリッド実証事業の一環として、2013年にサムスンSDI製リチウムイオン電池(4MW/8MWh)を導入した。



- ・リチウムイオン電池 BYD 6MW/36MWh
- ・リチウムイオン電池 Amperex Technology 4MW/16MWh
- ・リチウムイオン電池 China Aviation Lithium Battery製3MW/9MWh
- ・リチウムイオン電池 Wanxiang Group製1MW/2MWh
- ・NaS電池 日本ガイシ 4MW/24MWh
- ・レドックスフロー電池 Prudent Energy 2MW/8MWh

国家电网公司の張北プロジェクト

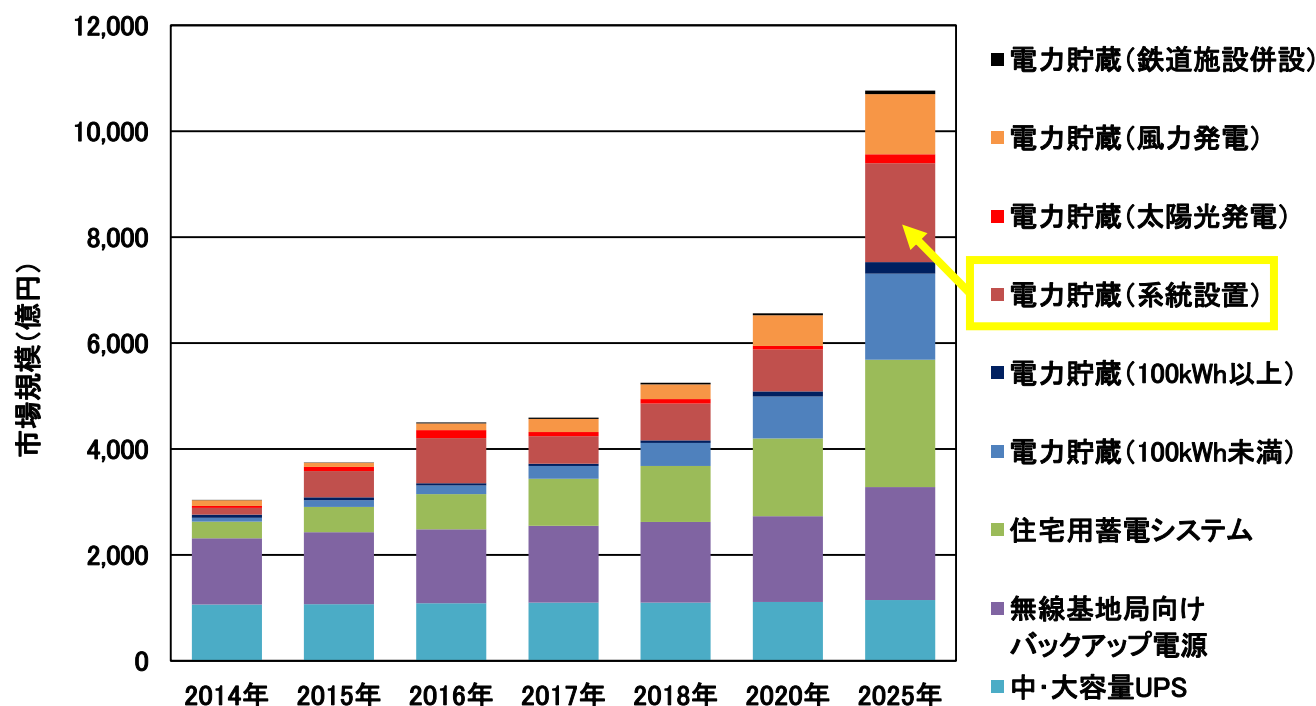


KEPCO済州島スマートグリッド実証

サムスンSDI製リチウムイオン電池 4MW/8MWh

大規模蓄電システムの市場動向：市場規模

- 再生可能エネルギーの大量導入、それに伴う系統安定化ニーズの高まり、電力システムの改革進展に伴う新たなエネルギーサービスの活性化等を背景に、定置用蓄電池の市場は、PCS・筐体等の周辺機器、据付工事等を含まない蓄電デバイスのみでも2015年実績の約3,700億円から2025年には約1兆800億円と約3倍に成長すると予測されている。
- このうち、系統用蓄電システム向けの蓄電デバイスの市場規模は、2015年で約500億円であるが、2025年には約1,900億円と約4倍に成長すると予測されている。



[注記]

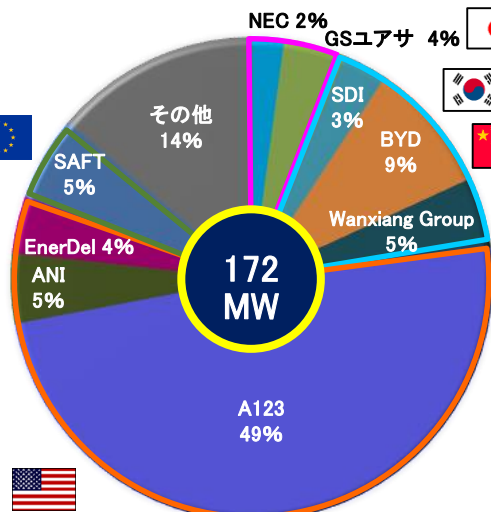
現在は、系統用蓄電システムの適切な設置規模・運用方法、将来の売買価格とその費用対効果等に関する共通指標は定まっておらず、市場環境整備が進められている状況。今後、市場規模予測は変化していくものと予想される。

定置用蓄電システム向け蓄電デバイスの市場規模推移・予測

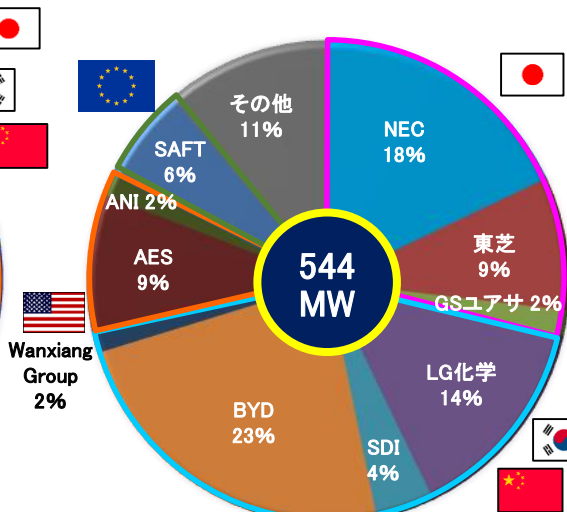
出典：「エネルギー・大型二次電池・材料の将来展望2016」(2016年7月、株式会社富士経済)

市場動向：リチウムイオン蓄電池システム(100kW以上)の主要メーカーシェア推移

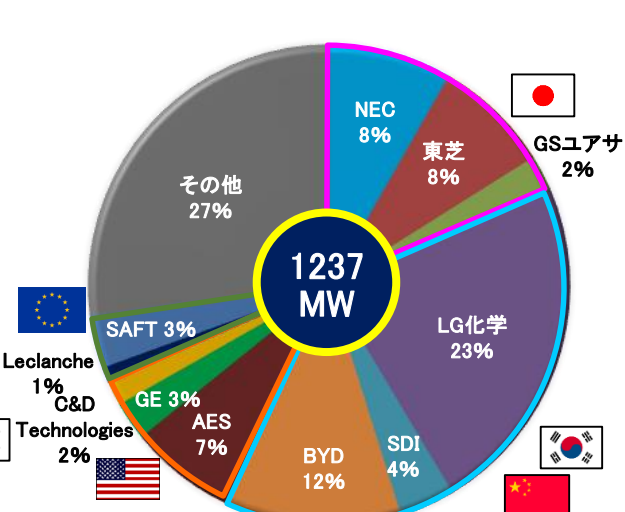
出力



2013年末までの累計

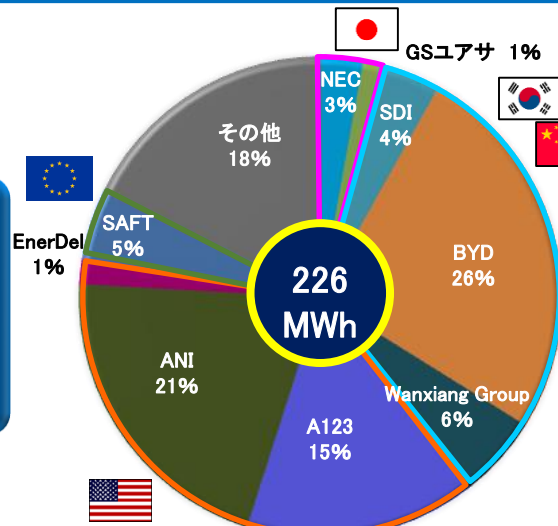


2015年末までの累計

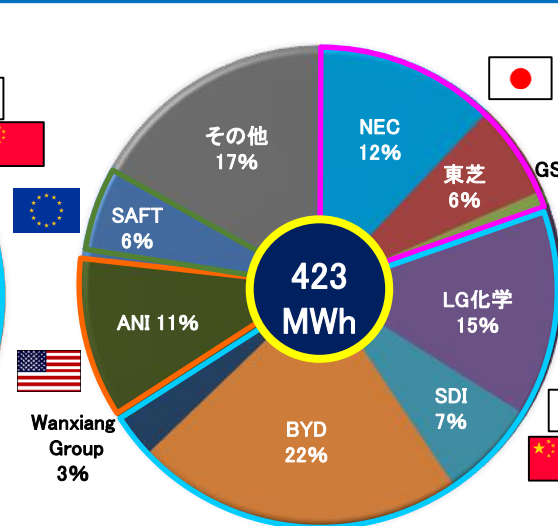


2016年6月時点の累計(契約のみも含む)

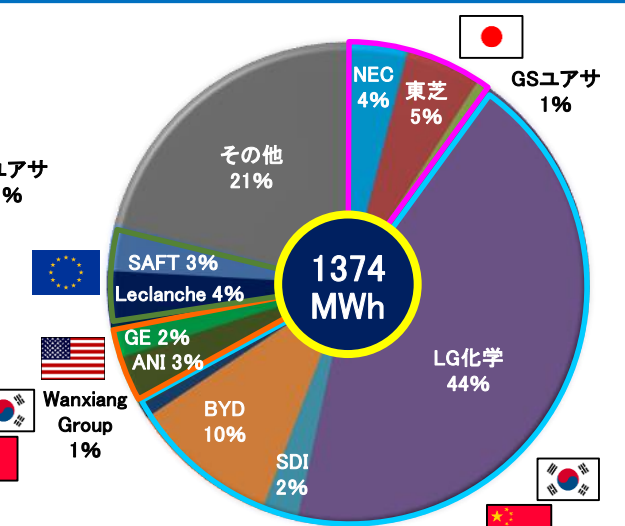
容量



2013年末までの累計



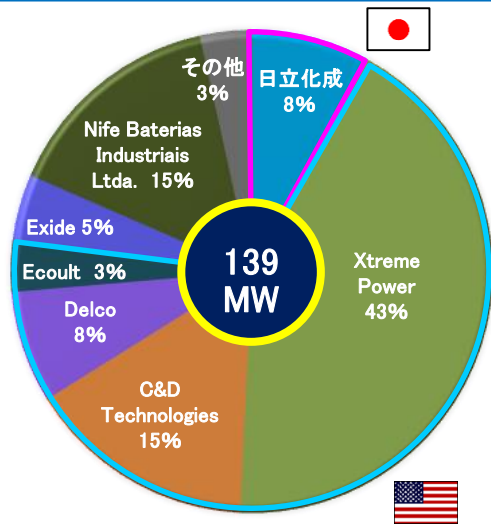
2015年末までの累計



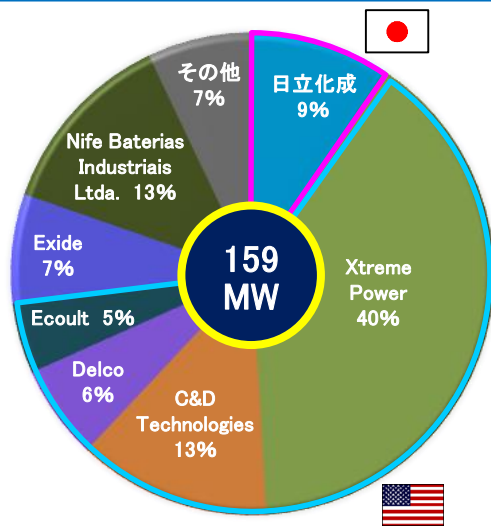
2016年6月時点の累計(契約のみも含む)

市場動向：鉛蓄電池システム(100kW以上)の主要メーカーシェア推移

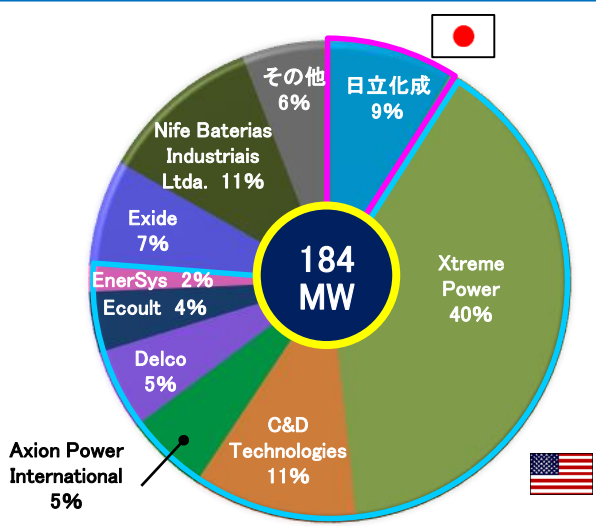
出力



2013年末までの累計

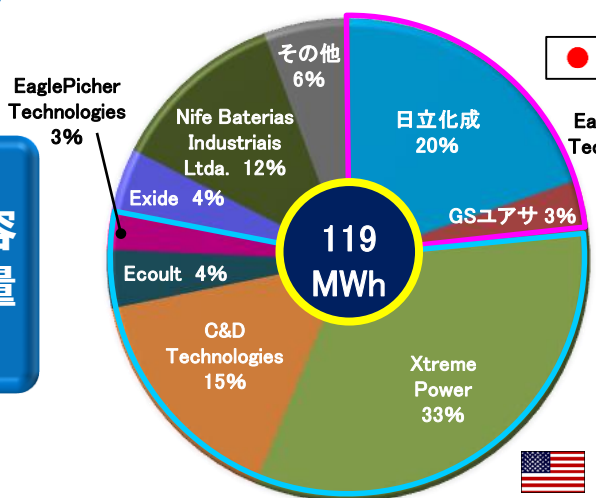


2015年末までの累計

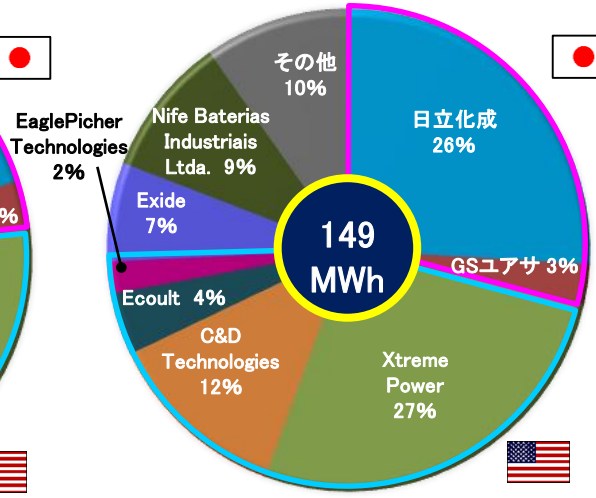


2016年6月時点の累計(契約のみも含む)

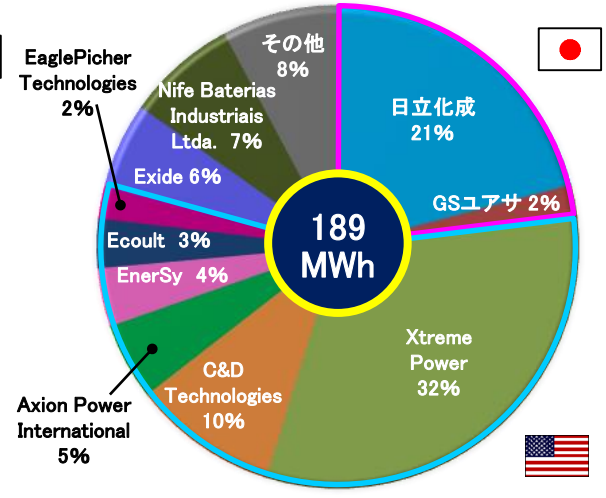
容量



2013年末までの累計



2015年末までの累計














2016年6月時点の累計(契約のみも含む)

出典：「The DOE Global Energy Storage Database」(<http://www.energystorageexchange.org/>)に基づきNEDO作成





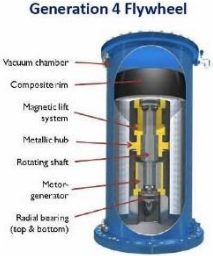

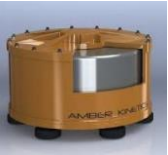
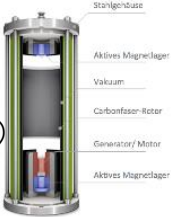
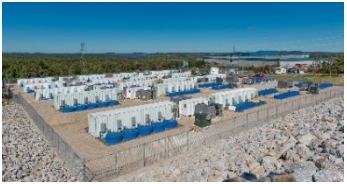



技術開発動向：大型リチウムイオン蓄電池システムの代表的メーカー

| メーカー | LG化学（韓国）  | BYD（中国）  | NEC（日本）  | 東芝（日本）  |
|-------------------|--|---|---|--|
| 容量/出力 (主な設置形態) | 4.8MWh (Long-duration) (40ftコンテナ) | 0.5MWh/0.5MW (40ftコンテナ) | 2.8MWh/2.8MW(Long-duration) (40ftコンテナ) | 0.24MWh/0.5MW (20ftコンテナ類似品) |
| 技術の特徴 | <ul style="list-style-type: none"> セパレータにオレフィン微多孔の表面をセラミックでコートしたSRS® (Safety Reinforced Separator)を使用し、安全性及び構造安定性を向上。 電池タイプは積層型で、放熱性と寿命向上を図っている。  | <ul style="list-style-type: none"> 正極のLiFePO₄を用いており、コバルト、マンガン及びニッケルを含む正極と比較して電位が低い。そのためエネルギー密度は不利になるものの、安全性、寿命の向上を図っている。  | <ul style="list-style-type: none"> 正極に1次粒子が100nm以下のLiFePO₄(Nanophosphate®)を用いており、コバルト、マンガン及びニッケルを含む正極と比較して低電位のためエネルギー密度は不利だが、安全性、出力及び寿命の向上を図っている。  | <ul style="list-style-type: none"> 負極にLi₄Ti₅O₁₂(LTO)を用いており、カーボンの負極を用いた系と比較して、重量エネルギー密度は不利になるものの、安全性、出力及び寿命の向上を図っている。  |
| 主な導入例 |  <ul style="list-style-type: none"> 2014年、カリフォルニア州に8MW/32MWhシステムを導入。 2014年11月、カリフォルニア州に100MW/400MWhシステムの導入が発表。 |  <ul style="list-style-type: none"> 2012年、カリフォルニア州に2MW/4MWhシステムを設置。 2015年、米国のウエストバージニア州でも31.5MWのシステムを設置。 |  <ul style="list-style-type: none"> 2009年、チリに12MW/4MWhシステムを納入。 2014年6月、英国に住宅地や変電所など合計で出力2.9MW、容量5.7MWhの蓄電システムを納入。 2015年7月、米国カリフォルニア大手電力会社Southern California Edisonに出力2.4MW/3.9MWhシステムを納入。 |  <ul style="list-style-type: none"> 2016年2月、東北電力の「南相馬変電所需給バランス改善蓄電池システム実証事業」に40MW/40MWhシステムで運転開始。 2013年11月、東北電力の仙台変電所に40MW/20MWhシステムを受注。 |

技術開発動向：大型鉛蓄電池システムの代表的メーカ

| メーカ | Xtreme Power (米)  | 日立化成 (日)  | Axion Power International (米)  | Ener Sys (米)  |
|-------------------|---|---|---|--|
| 容量/出力 (主な設置形態) | 1MWh/1.5MW(15分) (建屋内/コンテナ) | 1.5MWh/0.9MW (建屋内/コンテナ) | 1MWh/0.5MW (建屋内/コンテナ) | 1MWh/0.25MW (建屋内/コンテナ) |
| 技術の特徴 | <ul style="list-style-type: none"> 先進鉛電池(Advanced lead-acid battery)を使用している。 電極構造の保持と低抵抗化のため、金属合金をコートした耐衝撃ファイバーを用いている。 高出力化のため、電極のナノスケールの比表面積を大きくしている。  | <ul style="list-style-type: none"> 定置用の鉛蓄電池として2014年に正極格子デザインの適正化で格子腐食変形を抑制、極柱や端子部等の改良で発熱の抑制や電圧降下を抑制することで、最大放電電流0.6CA、最大充電電流0.3CA、期待寿命17年の電池を開発。  | <ul style="list-style-type: none"> 活性炭を鉛に添加した負極を採用し、充放電による電解液の濃度変化を緩和し、正極の格子腐食を低減することで長寿命化を図っている。 コンテナシステムについて、30分であれば1MWhのシステムで1MWの出力も可能。  | <ul style="list-style-type: none"> 定置用の電池の正極版はクラッド式を採用している。 ゲル状の電解液を採用したタイプもあり、メンテナンスフリーとしている。 リチウムイオン電池とのハイブリッドシステムを開発し、2015年から運用中。  |
| 主な導入例 |  <ul style="list-style-type: none"> 2012年、米国のテキサス州で36MW/24MWhシステムが稼働を開始。 2012年、米国のアラスカ州コディアック島にて、3MW(15分)システムが稼働を開始。 |  <ul style="list-style-type: none"> 2015年2月、沖縄県波照間島に1.5MWhのシステムを納入、600kVAのPCS(富士電機製)に接続し、運転を開始。風力発電の出力変動に対応。 2016年7月、秋田県風の松原風力発電所に風力発電向けの鉛蓄電池システムとして最大規模の約24.1MWhのシステムを納入。同年12月から運転開始予定。 |  <ul style="list-style-type: none"> 2014年に米国のニュージャージー州にて、PJM市場での周波数調整用に0.5MWのシステムを納入、現在建設中。 2014年に米国のペンシルバニア州の太陽光発電所に周波数調整やタイムシフト用途として9MWのシステム導入予定の報告あり、稼働日は不明。 |  <ul style="list-style-type: none"> 2014年に米国のバーモント州にて太陽光発電所にリチウムイオン電池とのハイブリッドシステムを納入。この内、鉛蓄電池は2MW/2.4MWh。 2015年に米国のバーモント州にてビルのデマンドレスポンス用に合計1MW/4MWhのシステムを納入中。100kW/400kWhのシステムを10台用いるとしている。 |

技術開発動向：大型フライホイール蓄電システムの代表的メーカー

| メーカー | | Beacon Power (米)  1997年設立 | Temporal Power (加)  2010年設立 | Amber Kinetics (米)  2013年設立 | STORNETIC (独)  2014年設立 |
|------------|--------|--|---|--|---|
| 出力/容量 (時間) | | 100kW/25kWh (15min) | 500kW/50kWh (6min) | 6.25kW/25kWh (4hr) | 22kW/3.6kWh (10min) |
| ロータ | 材質 | CFRP | 鋼 | 合金鋼 | CFRP |
| | サイズ | Φ900mm × H2100mm | Φ750mm × H1250mm (推定) | 不明 | Φ500mm × H1200mm |
| | 重量/回転数 | 1.13ton/16,000rpm | 4.3ton (推定)/13,000rpm | 不明 /8,500rpm | 不明 /45,000rpm |
| 軸受 | | 非接触 (電磁石 + 永久磁石) | 接触 (永久磁石 + 機械式ベアリング) | 接触 (磁石 + 機械式ベアリング) | 非接触 |
| 設置方式 | | ピット方式  | ピット方式  | コンテナ方式 (6基/コンテナ)  | コンテナ方式 (28基/コンテナ)  |
| 主な導入例 | |  <ul style="list-style-type: none"> Stephentown, NY (米) 2011～、20MW (100kW × 200基)、周波数調整 (NYISO向け) Hazle Township, PA (米) 2014～、20MW (100kW × 200基)、周波数調整 (PJM向け) |  <ul style="list-style-type: none"> Town of Mint (カナダ) 2014～、2MW、周波数調整 Norfolk County (カナダ) 2014～、5MW (500kW × 10基)、風力発電の電力安定化 |  <ul style="list-style-type: none"> 導入実績はなし A州 Fresnoに20MW/80MWhプロジェクトを計画。PG&E社は、カリフォルニア州の蓄電法令 AB2514 への対応として本プロジェクトを選定。 |  <ul style="list-style-type: none"> Juelich, NRW (独) 2015～、420kW、Virtual Power Plantの周波数調整 |

米国DOEによる大規模蓄電システムの技術開発プロジェクト

- DOEのエネルギー先端研究計画局(ARPA-E)所管の「GRIDS」においては、蓄電デバイスのコスト100\$/kWh以下を目指した技術開発が進められている。次世代蓄電池(亜鉛空気電池、ナトリウム電池等)に加えて、超電導磁気エネルギー貯蔵、フライホイール、圧縮空気貯蔵等、様々な種類の蓄電技術が開発されている。
- DOEの配電・エネルギー信頼性局(OE)所管の「Energy Storage Program」においては、サンディア国研、パシフィックノースウェスト国研において、鉛蓄電池、リチウムイオン電池、NAS電池の技術開発が行われている。なお、このプロジェクトでは、企業によりリチウムイオン電池、ナトリウムイオン電池、レドックスフロー電池、フライホイール、圧縮空気貯蔵(CAES)等のフィールド実証が行われている。

ARPA-Eの「GRIDS」プロジェクトの開発テーマ

| プロジェクト期間 | 助成先 | 開発する蓄電技術 | 助成費用 | 概要 |
|-----------|---|-----------------|--------|---------------------------------|
| 2010-2014 | ABB | 超電導磁気エネルギー貯蔵 | \$4.6M | 超伝導磁石を用いた低コスト大容量エネルギー貯蔵システムの開発 |
| 2010-2013 | Boeing | 次世代フライホイール | \$2.3M | フライホイールのロータ用の新たな材料開発 |
| 2012-2017 | Energy Storage Systems (ESS) | 鉄系フロー電池 | \$2.8M | 電解質の改善とバッテリーの革新的なハードウェア設計 |
| 2010-2013 | Fluidic Energy | 亜鉛空気電池 | \$3.0M | 低コスト、充電式、ハイパワー亜鉛空気電池モジュールの開発 |
| 2010-2011 | General Compression | 圧縮空気貯蔵 | \$0.8M | 等温圧縮空気エネルギー貯蔵システム |
| 2012-2015 | ITN Energy Systems | バナジウムレドックスフロー電池 | \$1.7M | 住宅や小規模な商業施設向けバナジウムレドックスフロー電池の開発 |
| 2012-2017 | Materials & Systems Research, Inc. (MSRI) | 先進ナトリウム電池 | \$3.2M | ナトリウム二次電池用高強度、低コスト固体電解質膜の開発 |

国際標準化の状況

IECにおける国際標準化活動



- 蓄電池関係の個別技術は、専門委員会TC21及びSC21Aで標準化が検討されている。以下は具体例。
 - ・ IEC62620(2014年11月発行): 定置用リチウム二次電池の性能(日仏共同提案)
 - ・ IEC62619(審議中): 定置用リチウム二次電池の安全性(日仏共同提案)
 - ・ IEC62932-2-2(審議中): レドックスフロー電池の安全性(日本提案)
- 電気エネルギー貯蔵システム全体をシステムの視点でとらえて、電力システムやそのサブシステムとの関わりを扱う専門委員会はなかったため、東芝と日立製作所がいち早くIECに新たな専門委員会の設置提案を行い、2013年に日本が幹事国となる電力貯蔵用蓄電システムに関する新たな専門委員会TC120が立ち上った。
- TC120では、用語・パラメータと試験方法・計画と設置に関する国際規格(International Standards)及び環境・安全に関する国際技術標準(Technical Specification)を、2017年5月までに発行することを目指している。

大型蓄電システムの試験・認証施設

- 蓄電システムメーカーが海外にMW級の大型蓄電システムを設置する際には、各国で異なる電力系統連系の要件などに適合することを試験・認証することが求められており、大型蓄電システムの評価施設を持たない我が国は、海外に蓄電システム搬出してから試験・認証を受ける必要が生じていた。
- 独立行政法人製品評価技術基盤機構(NITE)は、世界最大規模の大型蓄電池システム試験評価施設を備える蓄電池評価センター(NLAB)の建設を進め、2016年7月に稼働を開始した。
- NLABには、大型蓄電池システムの標準や要求に対する適合性評価だけでなく、将来TC120等を通じて我が国から新たな国際標準提案を行うことが期待される。



NLAB多目的大型試験棟

上位政策の目標達成への寄与～エネルギーイノベーションプログラム～

「エネルギーイノベーションプログラム」(経済産業省、平成20年4月制定)

- 資源に乏しい我が国は、革新的なエネルギー技術の開発、導入普及により、次世代型のエネルギー利用社会の構築が不可欠。政府が長期を見据えた技術進展の方向性を示し、官民が共有することで長期に亘り軸のぶれない取組の実施が可能。
- 達成目標：
 - ①総合エネルギー効率の向上
 - ②運輸部門の燃料多様化
 - ③新エネルギー等の開発・導入促進
 - ④原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保
 - ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用



本プロジェクトの寄与

- 低コスト・長寿命・安全性の高い蓄電システムの実用化により、新エネルギー大量導入時における系統電力の「余剰電力貯蔵(需給調整)」や「短周期の周波数変動に対する調整」への対策が可能となる。 ⇒ 達成目標③への寄与
- 蓄電システムを送電系統に分散設置することで、従来の「集中型」から「分散型」へのエネルギー構造のシフトを促進し、新エネルギー由来の電力のみならず、化石燃料由来の電力も有効・効率的に利用することが可能となる。 ⇒ 達成目標⑤への寄与

関連する上位政策

日本再興戦略2016 (2016年6月閣議決定、内閣府)

- クリーン・経済的なエネルギー需給の実現の中で、系統用蓄電池について、研究開発・実証等を通じ、低コスト化を図り、2020年までに導入コストを2.3万円/kWh以下とし、国内企業による先端蓄電池(車載用・電力貯蔵用)の市場獲得規模を2020年に年間5,000億円を目指すとしている。

エネルギー基本計画(第四次計画) (2014年4月閣議決定、経済産業省)

- 蓄電池については、最近の安全性の向上や充放電効率の増加による性能向上によって、従来の用途に加え、車載用、住宅・ビル・事業用等の定置用の用途へも広がりがつつあるが、引き続き、技術開発、国際標準化等により低コスト化・高性能化を図ることで、蓄電池の導入を促進するとしている。

エネルギー関係技術開発ロードマップ (2014年12月、経済産業省)

- エネルギー基本計画に示された施策として策定されたものであり、主要技術課題を整理し、解決に向けたロードマップである。この中の高性能電力貯蔵として大型蓄電池低コスト化、長寿命化、安全性確保に向けた技術開発を行い、寿命は20年(2020年)、コストは揚水発電等既存の調整電源並みを目指すとしている。

NEDO関与の必要性

➤ NEDOは、下記のような様々な領域・分野におけるプロジェクトの推進等を通じて蓄積された技術及び市場・産業動向に関する知見やマネジメントの経験・ノウハウを有し、それらが活用できる。

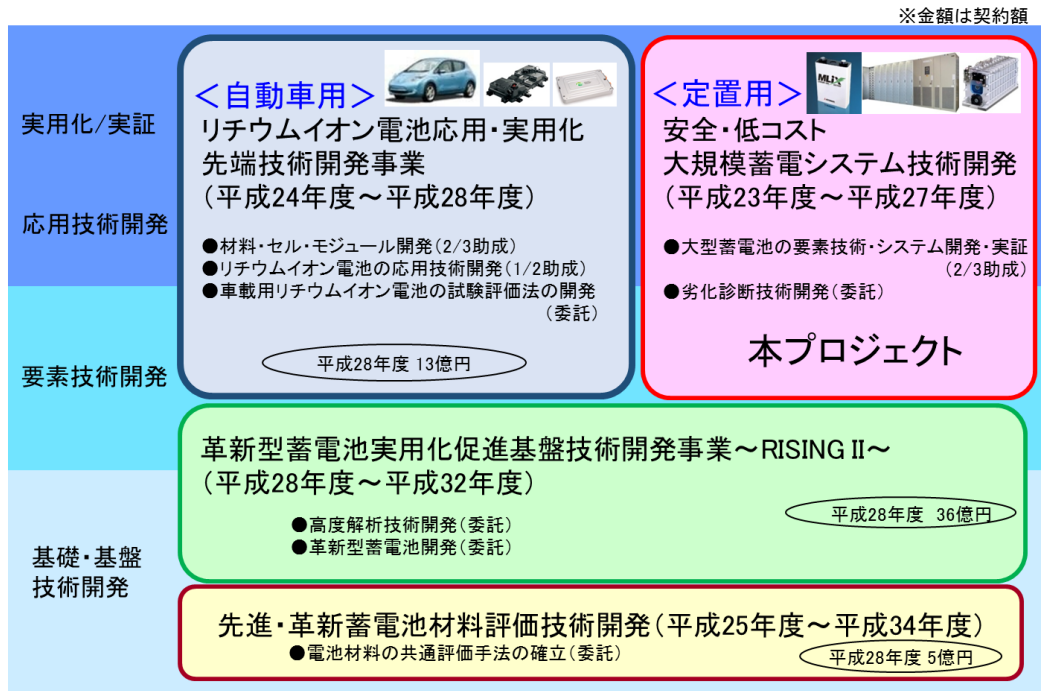
① 現在、関係省庁と緊密に連携しつつ、第一線級の実力を有する企業、大学、公的研究機関等の技術開発能力を最適に組み合わせ、共通基盤技術開発から応用・実用化開発までを戦略的かつ包括的にマネジメントしている（右図）。

② 平成18～22年度には、「系統連系円滑化蓄電システム技術開発」において、蓄電池と蓄電システムの技術開発を実施している。

③ 現在、欧米、東南アジアにおいて、蓄電システム等を活用したスマートコミュニティ実証プロジェクトを通じて、技術的、社会的実証課題を解決し、日本企業の海外展開のきっかけとなる実績をつくる“場”の提供に取り組んでいる。

➤ NEDOは、ビジネス上の競合関係にある複数の民間企業が参画したプロジェクトにおいて、各参画企業に対し、公平な予算配分管理や進捗管理等を行い、日本全体としての競争力を向上させていくことができる。

➤ NEDOは、研究開発項目②「共通基盤研究」における劣化診断技術の開発のように、NEDOが関与することで異なる2つの大学の研究グループが互いに情報を共有しつつ、連携・協力して研究の効率化や質の向上を図ることができ、また、これらの大学の先進的な技術について産業界とのマッチングを図ることができる。



実施の効果

産業競争力強化

- 世界各国で系統用蓄電システムの技術開発・実証試験が活発化する中、蓄電システムの研究開発と事業化能力を有した7つの企業グループの技術開発を加速し、世界の情勢に乗り遅れることのないよう早期の事業化を後押しした。
- 国内外の実電力システムで実証試験を行い、ユーザーとなる電気事業者等も含めた形で、蓄電システムの系統安定化効果及び安全性・信頼性の検証、運用・施工等の知見・ノウハウを共有・蓄積した。
- 特に海外での実証試験については、日本製蓄電システムをアピールし、アーリーアダプター獲得に繋がる布石の役割を果たした。

我が国の系統安定化対策コストの削減

- 「長期エネルギー需給見通し」(2015年7月)を基に概算すると、2030年の太陽光発電導入量は現状の約2倍となる6,500万kW規模まで拡大すると見込み。
- 今後、我が国が再生可能エネルギーを積極的に活用していく方策の選択肢の一つが、系統用蓄電システム。
- 本プロジェクトの蓄電システムが実用化されれば、我が国の系統安定化対策コストの削減に貢献できる。

費用対効果

- 助成先企業が開発した製品・サービス等の売上見通しは、プロジェクト終了後の2016年度から2020年度までの5年間、7企業グループの合計額で約1,500億円。5年目の2020年度には約700億円の規模の事業まで成長。
- これに対して、本プロジェクトにおける7企業グループの予算総額(NEDO負担分)は約48億円であり、十分な費用対効果が有ると言える。

学術成果の産業技術への引き上げ

- 大学が実施した蓄電池の劣化診断技術の研究内容・成果を本プロジェクトに参画している企業や業界団体等にも紹介し、産業界における活用及び実用化が実現。

その他の波及効果

- 本プロジェクトの開発技術は需要家用、再生可能エネルギー併設用等の蓄電デバイス・システムにも応用展開することが可能。各助成先企業の他用途市場におけるビジネス展開にも寄与。
- 蓄電システムには広範囲で高度な設計・製造技術の裾野が必要。本プロジェクトを通じて技術立国日本の将来を担う若手工学技術者の育成に寄与。

研究開発目標

プロジェクトのねらい

平成23年度～平成27年度の5年間に於いて、再生可能エネルギーの大量導入時に電力系統に生ずる「短周期の周波数変動に対する調整力の不足」及び「余剰電力の発生」を対策するため、より低コスト、長寿命で安全性の高い、システム効率80%以上の蓄電システム及びその要素技術の開発を実施すると共に、将来、この蓄電システムが円滑に普及するために必要な取組を実施する。

最終目標（平成27年度末）

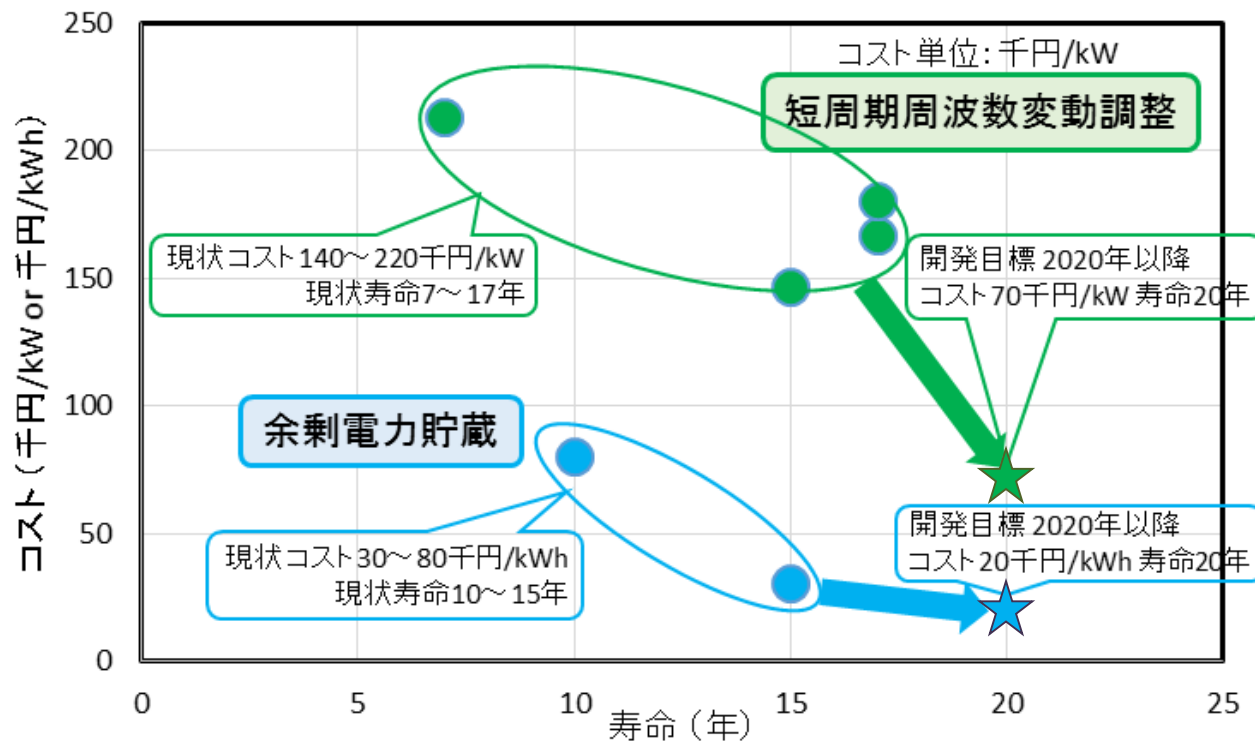
- ・開発した蓄電システムを送電系統に接続した場合の効果をフィールドテスト等によって実証する。
- ・次の蓄電システム目標値を満たす蓄電デバイスや蓄電システムの実用化の目処を得る。
 - (a) 余剰電力貯蔵用として、2万円/kWh、寿命20年相当
 - (b) 短周期の周波数変動に対する調整用として、7万円/kWh、寿命20年相当
 - (c) 予期せぬ誤動作や内部短絡等に対してもシステムとして安全性が担保されていること
- ・将来的に大規模蓄電システムへ展開可能な劣化診断法等の研究により技術の見通しを得る。
- ・必要に応じて蓄電システムの設置・輸送に係わる法改正等に向けた安全性評価等の取り組みを行い、系統安定化用蓄電システムの普及のための基盤作りを進める。

【蓄電システムの定義】 蓄電デバイスとその充放電制御や状態監視などの機能を有した制御部をいい、交流・直流変換や電圧変換、系統連系に必要な保護回路等の変換装置部分は含まない。

- 【蓄電システムの定格値、効率】
- (a) 余剰電力貯蔵用：100万kWh、6時間容量、効率80%以上
 - (b) 短周期の周波数変動に対する調整用：1万kWh、20分容量、効率80%以上

コスト・寿命の現状と開発目標の比較

▶本プロジェクトの実施者グループにヒアリングした現状コスト・寿命は、実施者間で電池種や事業規模等が異なり幅があるが、本プロジェクトの開発目標とを比較すると、コストは約半減、寿命は約1.5倍に設定されており、本プロジェクトの目標は、十分チャレンジングなものとなっている。



現状コスト・寿命は、本事業の技術成果を取り入れていない現行システムの2016年時点のコスト・寿命を表す。

海外の開発ロードマップと本プロジェクトの開発目標の概算比較

▶ 欧米、韓国における2020年前後の技術開発目標値は、余剰電力貯蔵用がコスト22,000～25,000円/kWh、短周期周波数調整用がコスト約150,000円/kW、寿命約11～20年。海外の目標値と比較しても、本プロジェクトの目標設定は妥当かつ競争力のあるものとなっている。

余剰電力貯蔵












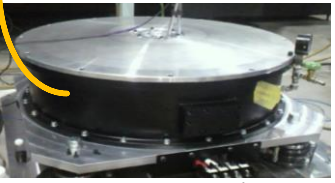
| | 達成時期 | システムコスト(除PCS) | 寿命 | 効率 |
|---------------------------|-------------|---------------|-------|-------|
| 本プロジェクト(2011年4月) | 2020年 | 20,000円/kWh以下 | 20年以上 | 80%以上 |
| 米国 DOE及び産業界(2013年12月) | 中期(2018年頃) | 21,900円/kWh以下 | 11年以上 | 75%以上 |
| | 長期(2023年頃) | 13,100円/kWh以下 | 14年以上 | 80%以上 |
| 欧州 戦略的エネルギー技術計画(2011年12月) | 2020年～2030年 | 27,600円/kWh位 | 27年以上 | 記載なし |
| 韓国 K-ESS2020(2011年5月) | 2020年 | 25,200円/kWh以下 | 20年以上 | 記載なし |

短周期周波数調整

| | 達成時期 | システムコスト(除PCS) | 寿命 | 効率 |
|-----------------------|------------|---------------|-------|-------|
| 本プロジェクト(2011年4月) | 2020年 | 70,000円/kW以下 | 20年以上 | 80%以上 |
| 米国 DOE及び産業界(2013年12月) | 中期(2018年頃) | 153,000円/kW以下 | 記載なし | 記載なし |
| | 長期(2023年頃) | 109,000円/kW以下 | 記載なし | 記載なし |

★ 海外のロードマップにおけるコスト目標は、対象とするシステムの範囲(蓄電デバイスのみ、PCSを含むなど)や、資本コストによる記載、ドル又はユーロによる記載等異なる基準によるもので、それらを本プロジェクトと比較できるようにある前提で換算した値である。従って、本プロジェクトとは、概算としての比較に留まる。

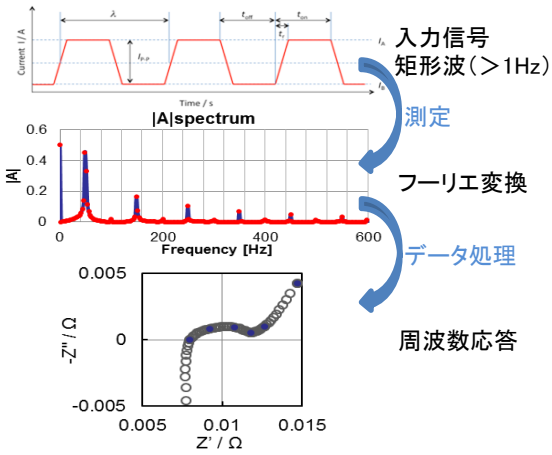

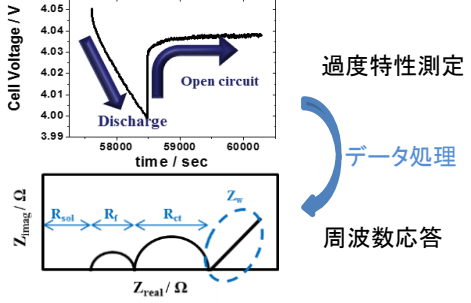


研究開発内容(1)

| 実施者 | 日立製作所 日立化成 | 三菱重工業 | 日本電気 NECエナジーデバイス | サンケン電気 |
|----------|---|--|---|---|
| 開発対象 | 鉛電池とリチウムイオンキャパシタ(LIC)によるハイブリッド型蓄電システム | リチウムイオン電池を用いたコンテナ型蓄電システム | ゲルポリマー電解質を用いた安全性の高いラミネート型リチウムイオン電池 | 小型フライホイールを複数台接続したネットワーク型蓄電システム |
| 用途 | 余剰電力貯蔵及び短周期周波数変動調整 | 短周期周波数変動調整 | 余剰電力貯蔵及び短周期周波数変動調整 | 短周期周波数変動調整 |
| 開発項目 | <ul style="list-style-type: none"> ①長寿命・高性能鉛蓄電池の開発 ②系統解析ツール開発、蓄電システム導入効果検証 ③蓄電システムの製作及び実証 | <ul style="list-style-type: none"> ①低コスト・高性能リチウム二次電池セルの開発 ②大規模システムの開発及び検証 | <ul style="list-style-type: none"> ①安全性向上セル技術開発 ②寿命予測 ③低コスト長耐久セル技術開発 ④システム開発実証 | <ul style="list-style-type: none"> ①フライホイールの低損失化技術開発 ②フライホイールの高効率制御技術開発 ③高速通信による監視・制御技術開発 ほか |
| 実証機及び試作品 | <p>伊豆大島 (1.5MW/8MWh) </p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>新型鉛電池設備</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>LIC 設備</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>新型鉛電池ユニット</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>LIC モジュール</p> </div> </div> | <p>英国オークニー (2MW/0.8MWh) </p> <div style="text-align: center;">  <p>コンテナ型実証機</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p>試作電池</p> </div> | <p>NECスマートエネルギー研究所内 (2kW/5.53kWh)</p> <div style="text-align: center;">  <p>小型蓄電システム (耐熱焼試験中)</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p>量産セルと同一サイズの 試作セル</p> </div> | <p>サンケンオプトプロダクツ工場内 (30kW/1kWhX3台)</p> <div style="text-align: center;">  <p>フライホイール制御盤 (制御盤の下に フライホイールを配置)</p> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  <p>フライホイール外観</p> </div> |

研究開発内容(2)

| 実施者 | 東芝 | 川崎重工業 | 鉄道総合技術研究所、クボテック 古河電工、ミラプロ、山梨県企業局 |
|----------|---|---|--|
| 開発対象 | リチウムイオン電池(商品名:SCiB)を用いた蓄電システム | ニッケル水素電池(商品名:ギガセル)を用いた蓄電システム | 超電導磁気浮上およびCFRPロータを用いたフライホイール蓄電システム |
| 用途 | 短周期周波数変動調整 | 短周期周波数変動調整 | 短周期周波数変動調整 |
| 開発項目 | ①低コスト・長寿命の電池・システムの開発 ②冷却・振動解析用電池盤モデルの開発 ③高出力蓄電システムの製作及び実証 | ①電池モジュールの低コスト化および長寿命化 ②電池監視システムの高度化 ③実証試験による電池モジュールの課題の抽出および長期耐久性の評価 | ①低コストで安全性の高いCFRP製ロータの開発 ②超電導コイルと超電導バルク体からなる高温超電導磁気軸受の開発 ③超電導フライホイール実証機の開発と実証試験 |
| 実証機及び試作品 | 米国オハイオ(2MW/0.785MWh)   スペインマドリッド(0.5MW/0.776MWh)   横浜市YSCP(300kW/100kWh)   300kW-100kWh | 沖縄県南大東島(300kW/130kWh)   300kW実証機  新電池モジュール | 山梨県米倉山大規模太陽光発電所(300kW/100kWh)   300kW実証機  CFRPロータ  超電導磁気軸受 |

研究開発内容(3)

| 実施者 | 早稲田大学 | 同志社大学 |
|----------------------------|--|--|
| 診断法 | 矩形波インピーダンス法 | 過渡現象診断法 |
| 診断原理 | 蓄電池の入出力信号に矩形波を重畳し、インピーダンスを測定。電池の等価回路とフィッティングし、各成分由来のインピーダンスを分離。 | 外部から信号を入力せず、蓄電池稼働時の電圧・電力の過渡特性からインピーダンスを測定。抵抗・容量成分の分離が可能。 |
| 想定運用法と特徴 | <ul style="list-style-type: none"> 蓄電装置のBMS・パワコンで矩形波を生成し、電池運転中に診断可能。 高精度な診断が可能で、システムコスト(専用ロガー代)は中程度。 | <ul style="list-style-type: none"> 蓄電池のBMSにソフトウェアを組み込み、電池運転中に連続的に診断可能。 診断精度は中程度で、システムコスト(専用チップ代)は非常に安価。 |
| 測定方法のイメージ 診断検証機 試作品等 |  <p>入力信号 矩形波 (>1Hz)</p> <p>測定</p> <p>フーリエ変換</p> <p>データ処理</p> <p>周波数応答</p>  <p>大型蓄電池状態把握システムの一部 (左から蓄電池ラック、測定システム、電力制御システム)</p> |  <p>過度特性測定</p> <p>データ処理</p> <p>周波数応答</p>  <p>診断検証で用いた電池ラック(左)、PV(右)</p>  <p>8-bit Micro-Controller</p> <p>診断装置プロトタイプ マイコン型(左)、FPGA型(右)</p> |

研究開発スケジュールと予算

スケジュール

| 研究開発項目 | 実施者 | H23fy | H24fy | H25fy | H26fy | H27fy | |
|------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 「系統安定化用蓄電システムの開発」 【2/3助成】 | 日立製作所、日立化成 | 公募 | 中間評価 | | | | |
| | 三菱重工業 | | | | | | |
| | 日本電気、NECエナジーデバイス | | | | | | |
| | サンケン電気 | | | | | | |
| | 東芝 | | 公募 | | | | |
| | 川崎重工業 | | | | | | |
| | 鉄道総合技術研究所他 | | | | | | |
| 「共通基盤研究」 【委託】 | 早稲田大学 | 公募 | | | | | |
| | 同志社大学 | | | | | | |

予算(NEDO負担額)

(単位:百万円)

| 研究開発項目 | 実施者 | H23fy | H24fy | H25fy | H26fy | H27fy | 合計 |
|------------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 「系統安定化用蓄電システムの開発」 【2/3助成】 | 日立製作所、日立化成 | 106 | 33 | 75 | 449 | 32 | 695 |
| | 三菱重工業 | 214 | 308 | 113 | 45 | 25 | 705 |
| | 日本電気、NECエナジーデバイス | 176 | 207 | 170 | - | - | 553 |
| | サンケン電気 | 56 | 151 | 99 | - | - | 306 |
| | 東芝 | - | 130 | 37 | 235 | 110 | 512 |
| | 川崎重工業 | - | 331 | 229 | 228 | 161 | 949 |
| | 鉄道総合技術研究所他 | - | 96 | 208 | 418 | 381 | 1,103 |
| 「共通基盤研究」 【委託】 | 早稲田大学 | 75 | 156 | 265 | 374 | 259 | 1,129 |
| | 同志社大学 | 32 | 34 | 26 | 98 | 171 | 361 |
| | 合計 | 659 | 1,446 | 1,222 | 1,847 | 1,139 | 6,313 |

NEDO技術委員会(蓄電技術開発)

➤ NEDOは、2013年度より、外部有識者6名で構成される「NEDO技術委員会(蓄電技術開発)」を設置・運営し、技術的な助言及びプロジェクト全体の運営管理に関する助言をもらいながら事業を推進している。本プロジェクトに関しても計3回の技術委員会を開催し、そこで得られた助言をその後の事業推進に反映して進めた。

開催実績

| | 開催日 | 議題 | 進め方 |
|-----|-------------|-----------------------|---|
| 第2回 | 2013年11月18日 | 「共通基盤研究」劣化診断技術開発の進捗状況 | ・「系統安定化用蓄電システムの開発」に参画している電池メーカー及び外部の電力会社にオブザーバとして参加してもらい、様々な条件で劣化した電池への適用性や、実用化の課題等について幅広く議論してもらった。 |
| 第7回 | 2015年7月2日 | 各実施者の開発進捗状況 | ・6人の常任委員に加えて、大型蓄電システムの運用について見識のある3人の有識者を非常任委員として招き、幅広く助言・意見をもらった。 |
| 第9回 | 2016年2月18日 | 各実施者の達成状況 | ・「共通基盤研究」の劣化診断技術の報告及び議論の際、「系統安定化用蓄電システムの開発」の実施者も参加し、国内ユーザをはじめとする技術者に大学の劣化診断技術の成果を共有した。 |

委員リスト

| 氏名 | | 所属・役職 |
|-------|-------|-------------------------|
| 佐藤 祐一 | 委員長 | 神奈川大学 工学研究所 名誉教授 |
| 鳶島 真一 | 常任委員 | 群馬大学大学院 工学系研究科 教授 |
| 松本 孝直 | | 電池工業会 部長 |
| 三田 裕一 | | 電力中央研究所 材料科学研究所 上席研究員 |
| 森田 賢治 | | 日本自動車研究所 FC・EV研究部 主任研究員 |
| 山木 準一 | | 九州大学 名誉教授 |
| 田中 晃司 | 非常任委員 | 東京電力 カスタマーサービス・カンパニー 部長 |
| 徳田 憲昭 | | エネルギー総合工学研究所 部長 |
| 本多 啓三 | | 電気安全環境研究所 技師長 |

実施者間の連携

「系統安定化用蓄電システムの開発」における実施者間の連携

- 助成テーマは、企業固有の実用化・事業化戦略が存在するため研究テーマ間での連携は行わず、競争的に取り組む方針とした。
- 5つの企業・団体が共同で実施する「次世代フライホイール蓄電システムの開発」においては、NEDOが主体的に参加して計45回の開発会議を開催し、企業・団体間の必要な連携が取れる体制をとった。

「共通基盤研究」における実施者間の連携

- 委託テーマは、2大学が劣化診断技術の開発という同じ目的の技術開発に取り組むことから、技術交流しながら研究を進める方針とし、NEDOも参加して計7回の研究交流会を開催した。
- 素性の分かった市販電池を共通測定サンプルとして用い、お互いの診断法を適用して劣化診断を行い、ほぼ同じ結果が得られることを確認した。また、それぞれの劣化診断法の各種データを比較・共有し、それぞれの特徴を明確化した。



共通測定サンプルとした市販電池

プロジェクトの進捗管理

プロジェクトの進捗管理

- NEDOは下記を実施することで開発進捗を常に把握すると共に、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、実用化・事業化の可能性、産業への波及効果等を随時、確認しながら、プロジェクトを運営管理。
 - ①四半期に一回、実施者と開発進捗会議を開催。開発進捗と併せて、実用化・事業化の戦略・シナリオに変更等が無いことを確認。
 - ②年一回、各実施者の実地調査を実施。研究開発現場を訪問し、試作品・試作システムや研究設備を確認。
 - ③年度末に、「実施状況報告書」の提出を求めている。
- NEDOは開発状況に応じて実施計画の変更や執行予算の前倒し・後ろ倒しに適切かつ柔軟に対応してきた。また、新たな実施内容の追加が適切で追加予算が必要と判断された場合には、加速予算措置を講じた。

2013年度終了テーマの内部事後評価

- 2013年度に終了した「系統安定化用蓄電システムの開発」の日本電気・NECエナジーデバイス及びサンケン電気による2テーマについて、NEDO蓄電技術開発室の主催により、2014年8月に外部有識者による内部事後評価委員会を実施し、目標達成度や事業化の見通し等を把握した。また、外部有識者委員のコメントをその後の取組に反映するように両実施者にフィードバックした。

知的財産に係るマネジメント

基本的な方針

- 本事業の成果として得られる知的財産は、オープン(論文等による公表、ライセンス、標準化)にする領域と、クローズ(ノウハウとしての秘匿化、特許権等による独占)にする領域とに適切に使い分けることとする。
- 出願による権利化は技術情報を公開することになることを認識した上で、出願する場合においても技術情報の開示・権利化の範囲に注意を払うとともに、権利を侵害する第三者に対しても差止請求を行うことができる実効性のある権利取得にも留意することとする。

具体的な対応

- NEDOは、本プロジェクトの各実施者に対して、蓄電デバイス及びシステム設計技術を中心に、知的財産権を積極的に確保するよう指導した。
- NEDOは、グローバル市場での展開を見据え、高効率な蓄電技術のニーズが高まっている北米、欧州等の先進国での海外出願を促進するとともに、必要に応じてBRICs等の新興国への海外出願も検討するように指導した。
- 権利化した特許については、逐次、NEDOに報告書を提出することを義務付け、本プロジェクトの知的財産の権利化動向を把握した。
- 事業期間5年間の特許出願件数は、「系統安定化用蓄電システムの開発」が101件(うち海外出願38件)、「共通基盤研究」が9件(うち海外出願5件)となっている。

中間評価結果への対応(1)

■「プロジェクト全体」に対する指摘事項と対応

| 指摘事項 | 対応 |
|---|---|
| ① 実証試験における蓄電システムの使用形態を明確にし、できるだけ一般的な知見が得られるよう期待。 | 中間評価の時点では、助成先2社について実証サイトが未定であったが、この2社を含む実証を計画していた5社全てについて、使用形態を明確にして実証試験を実施した。実証試験の一覧表を第Ⅰ章に掲載した。 |
| ② 実証試験は、安全性という技術の社会的信頼性に係る重要なポイントであるので、可能な限り実施。 | |
| ③ 技術優劣だけでは勝てないので、日本の技術優位性、先行開発を活かした国際標準化が必要。 | 標準化(JIS、IEC、ISO等)は、制度的共通化のメリットと技術がオープンになることのデメリットを考慮することが必要。スマートコミュニティ・アライアンス(JSCA)の国際標準化WGを通じて、進め方を議論する。 |
| ④ <u>コストに関し、各実施者に見通しのデータや前提条件を出してもらい、妥当性を客観的に評価することが必要。</u> | <u>各助成先に、従来技術によるコスト、事業終了時点の到達コスト、2020年時点の見通しコストに分けて、それぞれの内訳や前提をできる限り詳細に報告するように求め、NEDOとしても内容の妥当性を確認した。</u> |

中間評価結果への対応(2)

■「系統安定化用蓄電システムの開発」に対する指摘事項と対応

| 指摘事項 | 対応 |
|---|--|
| <p>⑤ 今後の進捗状況に応じ、材料開発とシステム開発のバランスを見直し、事業化をより確実なものとする必要がある。</p> | <p>各助成先は、自社の開発戦略に基づき、本プロジェクトと自社研究で同時並行的に開発を進めており、総合的に見ればバランスが取れた研究開発が行われている。また、完成した蓄電システムを用いた実証試験で課題が抽出された場合には、材料開発や要素技術開発に適宜フードバックして取り組みを行った。</p> |
| <p>⑥ 電池について今後の開発の中でも十分な安全性試験を行って欲しい。</p> | <p>各助成先は、本プロジェクト及び自社研究で安全性技術の開発とその検証データの蓄積を進めている。さらに、安全性も含んだ蓄電システムの共通課題は、有識者で構成される技術委員会でも議論し、助言や実証試験の結果等も踏まえて、取り組んできた。その結果、例えば、蓄電池の内部短絡試験を実施するよう助言を受け、実施計画に反映した。</p> |
| <p>⑦ 電力会社との連携が弱い。NEDO側からも積極的に電力会社との連携を図ること。</p> | <p><u>NEDOから沖縄電力等の電力会社に、本プロジェクトの全体像を説明し、実証試験の実施や実証データの公開について協力してもらえよう、直接働きかけ、必要な情報提供を頂いた。</u></p> |
| <p>⑧ 実施者に対してFMEAを義務付けるなど、論理的に安全性を担保させるべき。</p> | <p>フライホイールの助成先も含めたすべての助成先で、FMEAに取り組み、安全性評価に反映させた。</p> |
| <p>⑨ 実証試験実施後は、そのデータを可能な限り公開し、積極的に発信することを期待。</p> | <p>実証データは企業の営業・技術情報のため、単純にデータの公開を求めることは妥当とは思えないが、ビジネスチャンス創出のため、実証成果は積極的に発信するよう各助成先に提案している。なお、実証開始については各助成先及びNEDOから発信済である。</p> |

中間評価結果への対応(3)

■「共通基盤研究」に対する指摘事項と対応

| 指摘事項 | 対応 |
|--|--|
| <p>⑩ 開発された劣化診断法が、実際の大容量電池でどの程度正確に劣化診断ができるかを明確にすることが必要。</p> | <p>実用蓄電池の評価に向けて、より容量の大きな蓄電池について、委託先の2大学で診断結果を比較しながら、有用性を明確にした。また、各大学で大型蓄電システムにおける診断を開始し、本プロジェクト終了後も継続中である。</p> |
| <p>⑪ 診断技術を制御技術と一体化して、システム全体としての長寿命・高信頼化を目指すべき。</p> | <p>診断技術の発展として、指摘された方向を将来的に目指すべきと考える。本プロジェクトにおいては、まずは電池としての劣化診断技術を確立することとする。</p> |
| <p>⑫ メーカーの技術者など実務者から見た評価を聞いてみたい。機会を作って実務経験者(産業技術総合研究所、電力中央研究所を含む)の忌憚のない意見も聴取して欲しい。</p> | <p>本プロジェクトの助成先の電池メーカー、産業技術総合研究所及び電力中央研究所等が参加して、委託先2大学の診断技術に関する技術委員会を、平成25年11月(第2回)に開催し、評価や一般性検証手段について助言をもらった。その後、平成27年7月(第7回)及び平成28年2月(第9回)の技術委員会においても、実務経験者を含む委員の方々から、様々な助言をもらった。</p> |
| <p>⑬ 各グループ間での協力を行い、<u>同じ電池で提案の測定を行った場合に、どのような結果が得られるのかを比較して検討が必要。</u></p> | <p><u>両大学の研究交流会の場で比較方法を検討し、同じ電池を用いて同等の診断結果が得られることを確認した。</u>また、同研究交流会では、<u>診断時間、測定精度、コスト等、診断技術全般としての比較も行い、成果としてまとめた。</u></p> |
| <p>⑭ <u>開発した診断技術の一般性を検証することをプロジェクト内で検討して欲しい。</u>また実際のシステムで使用されるメーカーの電池を本テーマでの開発技術で診断して欲しい。</p> | <p>大学側から各電池メーカーに実運用されている電池の提供を働きかけたが、技術流出防止の観点から提供することは難しいとの判断だった。代わりに電池メーカーの特定された電動自転車用市販電池及び早稲田大学で試作した電池を用いて、<u>診断技術の一般性を検証した。</u>また、各大学で大型蓄電システムにおける診断を開始し、本プロジェクト終了後も継続中である。</p> |

「安全・低コスト大規模ハイブリッド型蓄電システム技術開発」(日立製作所、日立化成)

■開発方針

低コスト、長寿命で安全性の高い鉛蓄電池をもとに、更なる長寿命・高入出力を実現する鉛蓄電池を開発し、これに、短時間入出力に優れるリチウムイオンキャパシタ(LIC)を組み合わせることで、周波数調整力が一層向上し、短周期変動対策と余剰電力の発生対策の両立が可能なハイブリッド型蓄電システムを開発する。

■開発成果と達成度

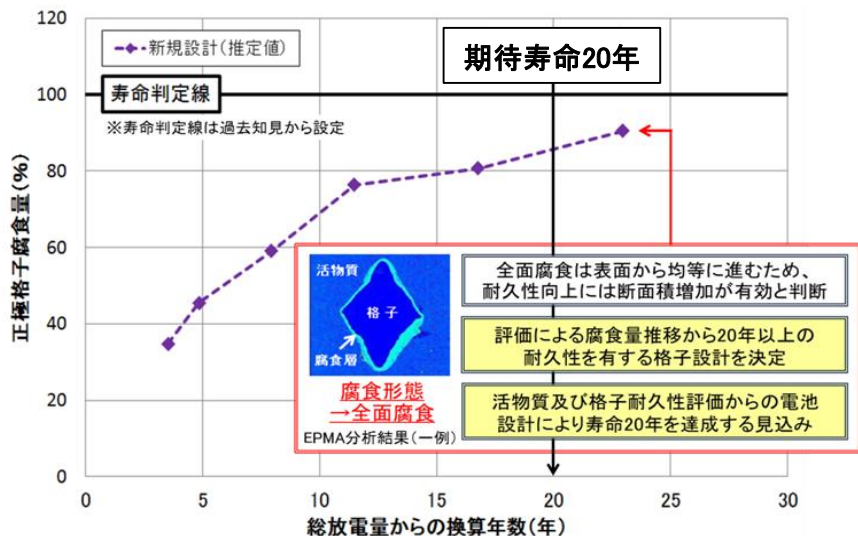
| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 |
|---------------|----------------------|--|-----|
| (a) 蓄電デバイスの開発 | (1) 2万円/kWh | ・集電構造を最適化し、過電圧を低減することで、現行品の3.1倍に放電容量を向上。さらに、製造工程の見直しを行うことでkWhコストを現行品の約82%に低減。今後、蓄電市場拡大に伴う量産効果で2.0万円/kWhを達成出来る見通し。 | ○ |
| | (2) 7万円/kW | ・(1)成果の集電構造を最適化による過電圧低減で、最大放電電流が現行品の2.5倍に向上し、現行品価格でも7万円/kWを達成。 ・さらに、kWhコスト低減(現行品比約82%)効果も含め、kWコストを大幅に低減した。 | ◎ |
| | (3) 寿命20年 | ・過去の実使用の電池の解体解析から正極格子の腐食が劣化と主要要因であることを明らかとし、この断面積を増加させることで、寿命を向上。20年を満足する見通しを得た。 | ○ |
| | (4) 大規模蓄電システムの構築 | ・大規模化による並列数増加を想定した評価を実施。並列間での電圧挙動に問題がないことを確認。 | ○ |
| (b) 蓄電システムの開発 | (1) 系統解析・構成検討技術の開発 | ・発電機定数、系統モデル運動方程式等の検討から系統解析ツールを作成。ここに、系統接続に係る要求特性を満たし、性能・コスト等の面から蓄電池の最適設計を行うアルゴリズムを加えることで、系統解析・ハイブリッド型蓄電池構成検討ツールを開発。 ・この開発したツールを用いて伊豆大島実証の蓄電システムの仕様を決定した。 | ○ |
| | (2) 制御アルゴリズムの開発 | ・ピークシフトに対応した電池の充放電スケジュールや充電深度(SOC)管理の他、ガバナフリー機能と時定数制御機能を有する周波数制御方式や実行蓄電池の自動選択等が組み込まれたハイブリッド型蓄電システム制御のアルゴリズムを開発した。 ・実系統シミュレーションにて開発した制御アルゴリズムの有用性を確認した。 | ○ |
| | (3) 実証試験でシステムの有用性を確認 | ・(a)で開発した新型鉛蓄電池8.06MWh(2V-1,500Ah×2,688セル)とLIC14.6kWh(3V-0.85Ah×5,760セル)から成るハイブリッド型蓄電システムを構築。 ・伊豆大島の実系統に接続し、運用のシステム効率が80%以上を達成。また、実運転にて制御アルゴリズムの有用性を確認した。 | ○ |

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

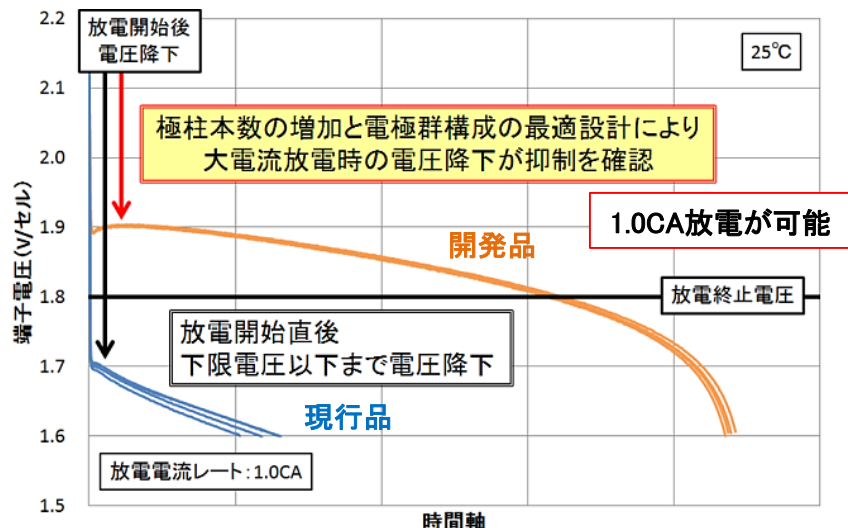
「安全・低コスト大規模ハイブリッド型蓄電システム技術開発」(日立製作所、日立化成)

蓄電デバイスの長寿命・高出力化

長寿命化への取組み



高出力化への取組み



実証試験

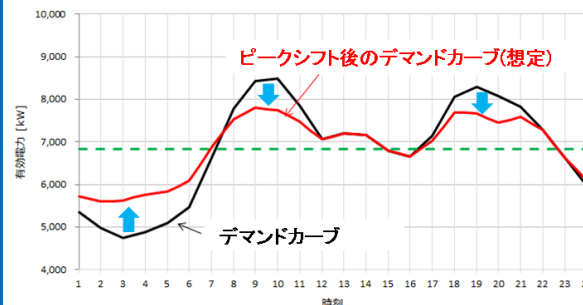
ハイブリッド型蓄電システム

〈蓄電システム概要〉

- ・設置場所: 東京電力大島発電所
- ・鉛蓄電池設備: 容量8.06MWh (1,500Ah × 224セル直列 × 3並列 × 2セット/PCS × 2台)
- ・リチウムイオンキャパシタ設備: 容量14.6kWh (0.85Ah × 160セル直列 × 18並列 × 2セット/PCS × 1台)
- ・PCS: 500kVA × 3台
- ・その他: EMS制御装置、蓄電池監視装置、変圧器、受電設備



蓄電システム運用試験



実証試験での運用データを基に、ピークシフト運転パターンを決定。シミュレーションの結果、デマンドカーブの平坦化が可能であることを確認。

ピークシフト運転実証の例 ガバナフリー制御試験の例

| ガバナフリー制御 | 50Hz±0.15Hzを超えた時間(秒) | 時定数(秒) |
|----------|----------------------|--------|
| 制御なし | 42.6 | — |
| 制御あり | 0.2 | 100 |
| | 9.9 | |
| | 0.5 | 10 |
| | 8.3 | 5 |
| | 0 | 0 |

実証試験で、ガバナフリー(GF)制御なしと比較し、GF制御を行うと周波数変動が50Hz±0.15Hzを超えた時間が短くなり、周波数調整への有用性を確認。

「低コスト・高性能リチウム二次電池を用いた大規模蓄電システムの研究開発」(三菱重工業)

■ 開発方針

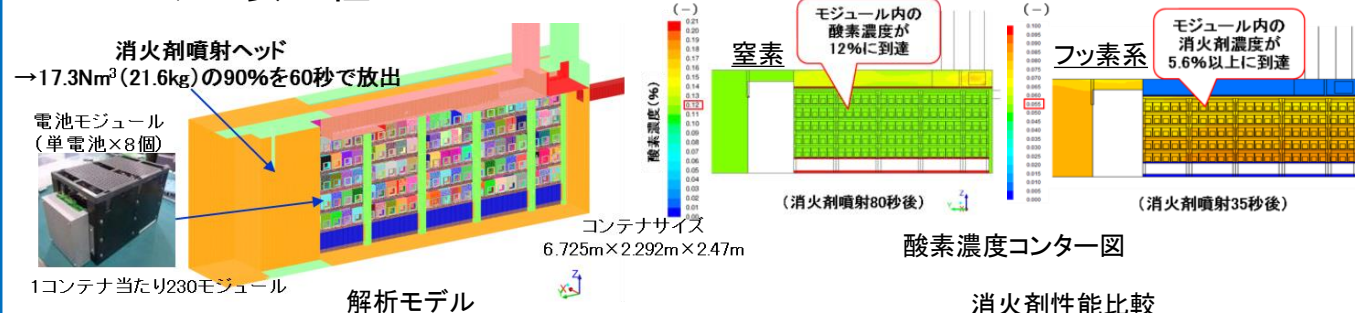
蓄電システムの低コスト化や耐久性・安全性向上を目指して、リチウムイオン電池の開発及びコンテナ型システムの設計を行う。開発電池の性能データや蓄電システムの性能・安全性予測ツールを用いて、蓄電システムの寿命や安全性等を見積もり実用化の目処を得る。

■ 開発成果と達成度

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 |
|--|---|--|-----|
| (a) 低コスト・高性能リチウム二次電池セルの開発 (1) 高容量正極材料の開発 (2) 正極材料のゲル化対策 (3) 高容量負極材料の開発 (4) 電池設計の最適化 (5) 高電圧対応電解液の開発 | (1) 正極活物質当りのエネルギー密度: 700Wh/kg以上、寿命: 加速試験による20年相当 | Ni系正極材料の開発・高性能化によりエネルギー密度740Wh/kg、寿命20年相当達成。 | ○ |
| | (2) 安定な電極成膜を可能とする | 酸中和剤添加により安定な成膜が可能となった。 | ○ |
| | (3) 負極活物質当りの容量密度: 1,000Ah/kg以上、寿命: 加速試験による20年相当 | 1,000Ah/kg以上のSiO材料を用いた黒鉛混合負極にて、黒鉛電極と同等寿命を確認。 | ○ |
| | (4) 電池性能と安全性(放熱性)を両立する電池構造を決定 | 電池発熱を考慮した電池性能シミュレーションを開発したことで、電池構造設計の目途を得た。 | ○ |
| | (5) 寿命: 加速試験による20年相当 | 電解液の酸化分解抑制添加剤を用いることで寿命20年相当の目処を得た。 | ○ |
| (b) 大規模システムの開発および検証 (1) システムの高性能化・低コスト化 (2) システムの安全性・信頼性向上 (3) システム検証 | (1) システム効率80%以上(PCGS端)の目処付け。システム価格7万円/kW以下の目処付け(PCGS除く) | ・システム効率向上を目的に、チョップレスPCSを採用。全負荷率でシステム効率80%以上を達成した。 ・実証試験で検証した予測ツールを使い、システム寿命20年となることを確認。 ・電池ラック・コンテナなどの設計見直しによりシステム価格 7万円以下の目処を得た。 | ○ |
| | (2) 一つのセルが熱暴走してもシステムからの発火に至らないシステムの開発 | ・コンテナESSの長崎造船所内実証機で認証機関立ち会いによるCEマーキング試験を行い、認証を取得した。 ・各種規制(REACH、WEEE等)対応やFMEAで、製品の安全性・信頼性を確保。 ・安全性予測ツールにより、万一のセル熱暴走時にもシステムとして火災にならない消火設備を備えた蓄電システムを構築した。 | ○ |
| | (3) 大規模蓄電システムの導入効果の検証 | 英国スコットランドオークニー諸島へ2MW/800kWh級大規模蓄電システムを設置、実証試験を実施し、周波数調整パターンでの各種運転データを取得・評価。 | ○ |

「低コスト・高性能リチウム二次電池を用いた大規模蓄電システムの研究開発」(三菱重工業)

■システム安全性シミュレーション

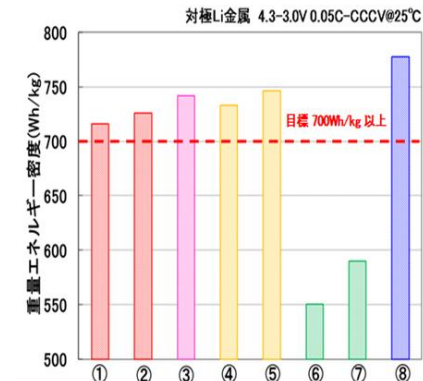


・コンテナ型システムで電池が発火した際に、窒素消火剤とフッ素系消火剤を用いた場合のボンベ1本分の消火剤が放出された状況を想定したシミュレーションを行った。
 ・窒素消火剤は80秒後、フッ素系消火剤は35秒後には消火可能な酸素濃度に到達することを確認。

消火剤性能比較

| | 窒素(N ₂)消火剤 | ノベック(フッ素系)消火剤 |
|------------------|------------------------|---------------|
| 消火剤濃度(%) (酸素濃度%) | 43% (12%) | 5.6% (19.6%) |
| 消火可能時間(秒) | 80秒 | 35秒 |

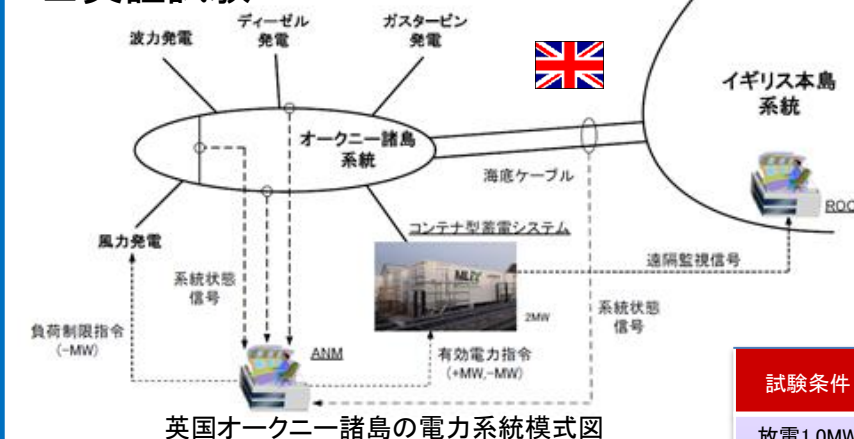
■高容量電池の開発



組成違いの正極材料の単極エネルギー密度

・LiNiO₂正極材料に固溶可能で、酸素との高い結合力が期待できる元素4種を組成違いで固溶させた材料サンプルを作製し、サンプル③、⑤で740Wh/kg以上、100サイクル後の容量維持率目標94%に近い特性を確認した。
 ・正極サンプル③と2種類の酸化分解抑制添加剤を混合した高電圧対応電解液の組み合わせにより、従来セルの容量1.35倍の68Ahの新型電池を開発できた。
 ・新型電池は、0~100%SOC範囲で室温での容量維持率70%で、約4,000サイクルの寿命と推定。
 ・SOC範囲を10%~90%に狭めると、約2倍の8,000サイクル程度の寿命が期待でき、約20年寿命の目処が得られた。

■実証試験



・英国オークニー諸島に2MW/800kWh級大規模蓄電システムを設置し、英国の電力大手SSE社(共同実証先)所掌制御装置と連携した実証試験を実施。

・周波数調整試験中のセル温度上昇試験、補機動力低減のための空調制御試験、システム応答性試験、システム充放電効率試験、電池劣化試験等を実施。
 ・システム充放電効率試験は、目標の80%以上を達成し、連続充放電を長期間行っても効率は不変であることを確認。

実証機の充放電効率評価

| 試験条件 | 2013年 7月 | 2014年 11月 | 2015年 11月 | 備考 |
|-------------------|----------|-----------|-----------|----------------------------|
| 放電1.0MW (負荷率50%) | 90 | 91 | 92 | 効率% (=PCS放電電力量 ÷ PCS充電電力量) |
| 放電2.0MW (負荷率100%) | 88 | 89 | 89 | 充電:セル電流50A 充電率:10~89% |

「系統安定化用の低コスト高出力蓄電システムの技術開発」(東芝)

■ 開発方針

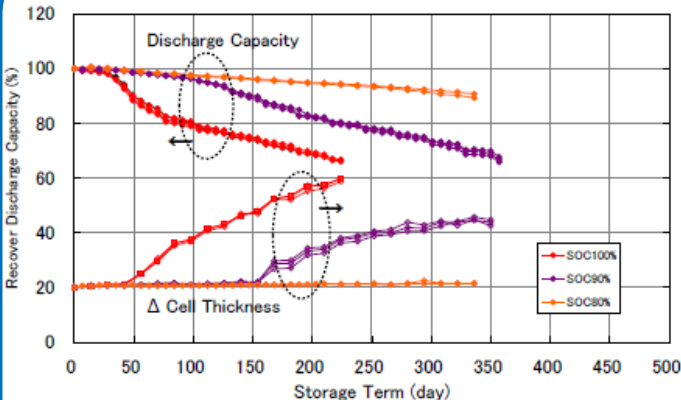
リチウムイオン電池のガス発生による経時劣化を改善した長寿命セル、低コストで耐震性・冷却性に優れた電池盤、蓄電池のオンライン監視及び劣化診断技術、を開発する。国内外の実証試験からこれらの有用性を検証し、グローバル対応の基本設計を確立する。

■ 開発成果と達成度

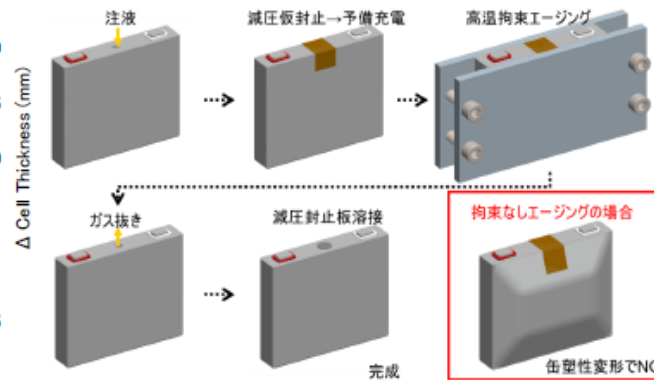
| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 |
|---|-------------------------------------|---|-----|
| 低コスト (1) 低価格電池盤の開発 (2) 大規模蓄電池システムの構築技術(要素解析モデル)の開発 (3) 海外実証(米国、スペイン) | システム設置コスト 7万円/kW (10MW、20分容量) | (1) 正面メンテナンス可能で溶接部位を極小化するなど、簡素構造で製作性に優れた低価格電池盤を開発。 | ○ |
| | | (2) 電池盤の冷却性能解析モデルを開発して高出力時の温度上昇推定を高精度化し、蓄電池の搭載容量最適化とコンテナへの高密度実装(コンテナ数削減)を実現。 また、充放電可能電力量予測や稼働中の容量推定など容量劣化の監視手法を開発し、蓄電池の搭載容量を最適化。 | ○ |
| | | (3) 欧米2ヶ国で、現地メーカーによる実証機の現地製作を通じて、グローバルに対応可能な制御装置及び周辺装置の基本設計、低コスト化ノウハウを確立。 | ◎ |
| 長期信頼性 (1) 長寿命セル製造技術(ガス除去プロセス)の開発 (2) 大規模蓄電池システムの構築技術(要素解析モデル)の開発 (3) 国内実証 | 20年の使用に耐える | (1) ガス発生メカニズムを解明して、セルの長寿命特性を改善。 | ○ |
| | | (2) 多数モジュール管理のための運用監視技術や劣化評価技術を開発し、長期信頼性を担保する運用監視の基本方式を確立。 | ○ |
| | | (3) 長寿命セル(開発セル)及び各種の開発手法の効果をフィールドで検証し、長期信頼性の確度を向上。 | ○ |
| 安全性 (1) 耐振動性能を備えた電池盤の開発 (2) 大規模蓄電池システムの構築技術(要素解析モデル)の開発 | 輸送時、地震発生時の安全性を確保する | (1) 開発した簡素構造電池盤を試作して安全性評価試験を実施し、振動や落下に関する条件クリアを確認 | ○ |
| | | (2) 電池盤の振動解析モデルを開発し、耐振動性能の改善施策を立案 | ○ |

「系統安定化用の低コスト高出力蓄電システムの技術開発」(東芝)

■ガス除去プロセスによるセルの長寿命化



加速保管環境 (60°C) でのセル膨れと容量劣化の例



拘束エージングによるガス除去プロセス

- セル膨れと容量劣化の関係を調べたところ、SOCが高くなるにつれて、より短い保存日数でセルが厚くなっていき、同時に容量維持率が低下し、劣化要因としてセル膨張があることが判明。
- この電池膨張はセル内部でのガス発生に起因するため、セルの製造プロセスで高温エージングによりガスの発生反応を加速させて取り除き、発生ガスによる電池缶の変形を避ける拘束エージングプロセスを開発。
- 本プロセスを適用することで45°Cで寿命が約4倍になり、セルとして20年の長寿命性能が見込めた。

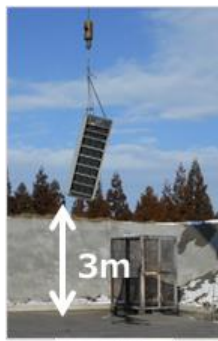
■簡素構造電池盤の開発



簡素構造電池盤



振動試験



落下前



落下後

3m落下試験

正面メンテナンスを可能とし、溶接部位を極小化するなど、構造が単純で、製作性に優れた電池盤を開発。振動試験、3m落下試験を行い、いずれの試験でも、電池モジュールの発火、発煙、異常発熱などの異常は認められず、蓄電池盤の安全性を確認した。

■実証



40ftコンテナ1基

北米: PJM-周波数調整(FR)市場にて、2015年1月28日より稼働中



20ftコンテナ2基

欧州: 配電線負荷変動の平滑用途にて、2015年9月29日から稼働中



20ftコンテナ1基

国内: YSCP実証機(横浜)にて、2015年6月8日から開発セル評価及び劣化状態推定法の実証試験を実施

「安全・低コスト・高性能ニッケル水素蓄電池および蓄電システムの開発」(川崎重工業)

■開発方針

安全・低コスト・長寿命で内部抵抗の低いニッケル水素電池及びSOC算出精度向上や劣化診断等の電池監視システムの開発を行い、実証試験で電力系統安定化、特に短周期周波数変動抑制への適応可能性を検証する。

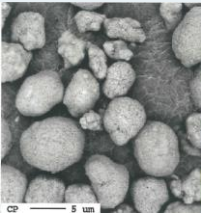
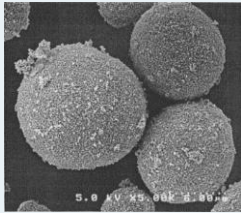
■開発成果と達成度

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 |
|--|---|--|-----|
| (a) 電池モジュールの低コスト化および長寿命化 | (1) 寿命: 20年 (加速試験による目標値) 1C: 0-100% 3,500サイクル 2C: 0-100% 2,920サイクル | 電極材料改良(電極構成比、正極、負極材質の見直し)により高耐久化し、モジュール耐久試験にて2C: 0-100% 3,452サイクル(1C換算4,142サイクル)を確認し、寿命20年達成の見通しを得た。 | ○ |
| | (2) コスト: 7万円/kW | 電池部材改良、筐体改良、電池モジュール製造効率化により6.3万円/kWを達成した。 | ○ |
| | (3) 安全性の高い蓄電池、電池システムの開発 | 各種部材、構造を改良した最終仕様で過充電試験、振動試験、落下試験、低圧試験を行い、発火、発煙、破裂漏液がなく、安全であることを確認した。蓄電池システムとしてはFMEAで安全性を確認した。 | ◎ |
| (b) 電池監視システムの高度化 | (1) SOC算出精度向上 (目標値は実証運用を踏まえ設定) | 算定ロジックの高度化及び使用する特性データの増加によりSOC精度約20%向上(精度の問題による運用停止なし) | ○ |
| | (2) 劣化診断手法開発 | SOC算出過程で算定される電池内部抵抗値を劣化診断に適用する手法の見通しを得た。 | ○ |
| | (3) 新電池監視装置開発 台数削減により簡素化とコスト削減 | 80モジュール監視時、従来装置では8台必要だったものを新電池監視装置では1台にて対応可能。監視装置コストは半減。能力向上により新ロジック追加も可能。 | ○ |
| (c) 使用条件による電池モジュールの課題の抽出及び長期耐久性の評価(実証試験) | (1) 実証設備設置・実証試験実施 | 300kW/130kWhの蓄電池システムを南大東島に設置し、風力発電245kW×2基の出力変動による周波数変動抑制効果の検証を行った。 | ○ |
| | (2) 電池の劣化状態の把握 | 2年間使用した電池の内部抵抗と放電容量を確認し、劣化が進行していないことを確認した。 | ○ |
| | (3) 10MW級の設備導入時に80%の総合運転効率達成の見通しを得る | 電池モジュールの低抵抗化と冷却構造の改良で、充放電における電池の温度上昇を下げることで、エアコン電力量を低減させ、総合運転効率80%達成の目途を得た。 | ○ |

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

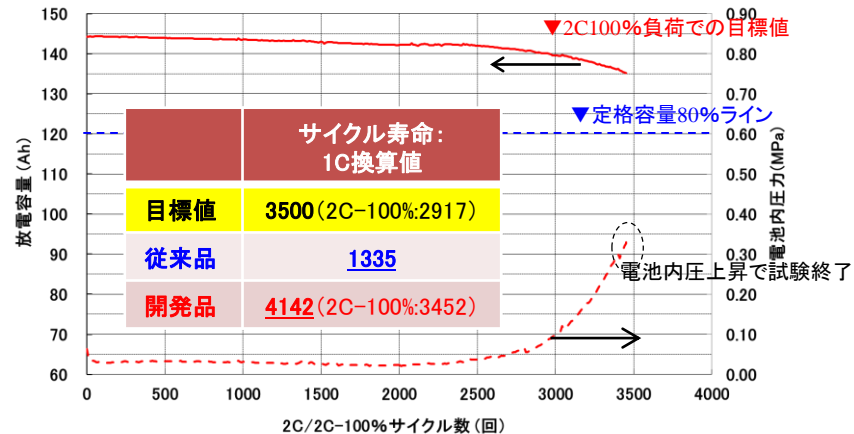
「安全・低コスト・高性能ニッケル水素蓄電池および蓄電システムの開発」(川崎重工業)

■ 正極の改良

| 従来 | コンセプト3 |
|---|---|
| C又は $\text{Co}(\text{OH})_2$ -coated $\text{Ni}(\text{OH})_2$ | CoOOH -coated $\text{Ni}(\text{OH})_2$ |
|  |  |
| Co価数: 2 | 狙い: 結晶安定性向上(耐久性向上) 方法: Co価数をより安定な高酸化状態である3以上に変更 結果: 耐久性 約3倍(従来比) |

正極活物質を CoOOH でコートすることで、結晶安定性を向上。単電池評価で約3倍の耐久性向上を確認。

■ モジュールの寿命向上



電極及びモジュールの改良でサイクル寿命特性が約3倍(1,335→4,142)に向上し、寿命20年(3,500サイクル)を達成見込み。

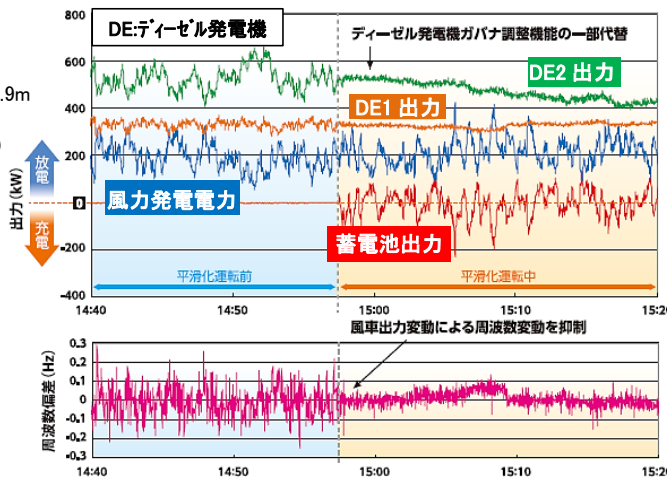
■ 実証試験



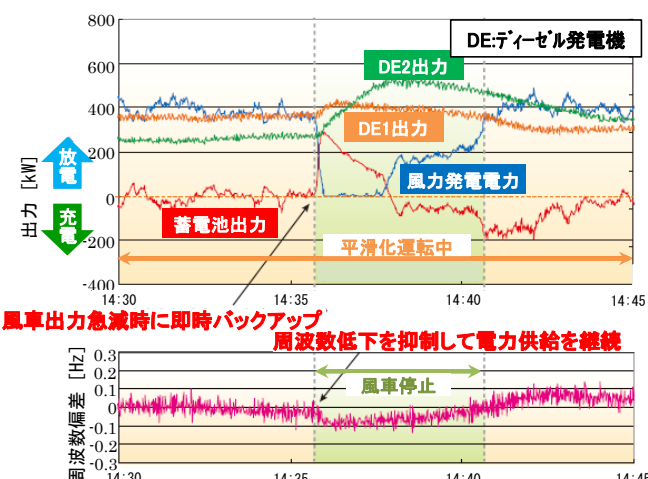
＜蓄電システム概要＞
 大きさ: 長さ6m × 幅2.5m × 高さ2.9m
 出力/容量: 300kW/ 130kWh
 (電池モジュール5.1kWh × 24個)
 PCS: 300KVA

開発モジュールを搭載した300kW/130kWhの蓄電池システムを設計・製造。風力発電245kW × 2基を有する南大東島の系統に接続。

風力発電の通常運転及び減衰時の周波数変動について、変動抑制効果を確認。



通常運転時の周波数変動抑制効果



風力発電出力減衰時の周波数変動抑制効果

「大規模蓄電システムを想定したMn系リチウムイオン電池の安全・長寿命化基盤技術開発」(日本電気、NECED)

■ 開発方針

ラミネート型Mn系リチウムイオン電池の安全性を更に向上するためにゲルポリマー電解質を用い、コスト目標を実現可能な低コスト材料に寿命改良策を導入した、安全・低コスト・長寿命のセル技術を開発する。開発したセルを小規模蓄電システムに搭載し、システムレベルでの安全性を実証する。

■ 開発成果と達成度

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 |
|-------------------|--|---|-----|
| (a) 安全性向上セル技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> ゲルポリマー電解質適用セルの作製プロセスの確立 万が一の事態に陥っても安全性の確保を可能にする大型セルでの液漏れ安全性実証 大型セルでの加熱安全性試験の実証 | <ul style="list-style-type: none"> 長寿命化が実現可能な独自添加剤含有ゲルポリマー電解質を適用した3.5Ah級セルの作製プロセスを確立。さらに大型セルにも適用可能であることを確認。 ゲルポリマーセルの液漏れ安全性を実証(電解液セルの1/4以下の漏液量) 加熱安定性試験で従来電解液セルで発火・漏液が起こる温度でも発火・漏液なしを実証。 | ○ |
| (b) 寿命予測 | <ul style="list-style-type: none"> 複雑な定置向け電池駆動パターンからの寿命予測及び20年寿命が予測できることの検証 | <ul style="list-style-type: none"> 温度・レート加速係数を算出。長寿命運用条件の検討により寿命延長効果を確認。 蓄電システムの実運用を模擬した充放電パターンによる評価を行い、20年後の残存容量の予測手法を確立した。 | ○ |
| (c) 低コスト長耐久セル技術開発 | <ul style="list-style-type: none"> 独自に開発した添加剤を適用した電解液及び表面状態を制御した活物質を開発して、コスト2万円/kWh以下、容量維持率80%以上@7,000サイクル相当寿命の蓄電池を開発することを目標とする。 | <ul style="list-style-type: none"> コスト目標が実現可能な材料を選定し、2万円/kWhが見込めることを実証。この材料を用いたセルでLNO中のLiOH低減等の施策を実施し、上限電圧を適切に設定することで容量維持率80%@7,000サイクル相当の寿命が得られた。 | ○ |
| (d) 蓄電システム基本実証 | <ul style="list-style-type: none"> 余剰電力貯蔵用途:小規模蓄電システムでの長期運用試験による総合的な性能検証と大規模化を想定した要求仕様抽出 短周期周波数調整用途:基本制御アルゴリズムの基本設計と機能検証 | <ul style="list-style-type: none"> 小型蓄電システムの実証から寿命改善効果を確認。また電解液漏洩の低減効果によるシステムレベルでの安全性向上を立証。低圧領域での直並列拡張検証による大規模化要件を抽出した。 | ◎ |

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

「大規模システムを想定したMn系リチウムイオン電池の安全・長寿命化基盤技術開発」(日本電気、NECED)

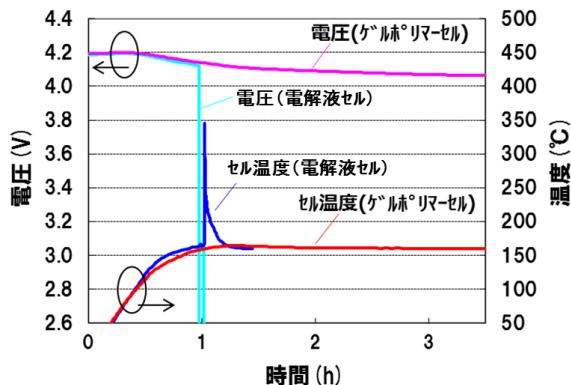
■ゲルポリマー電解質による安全性改良

5Ahクラス中型ラミネートセルの加熱試験
(満充電状態で所定温度で加熱し3h保持)

| セル種 | 発煙・発火 | |
|----------|-------|------|
| | 150℃ | 160℃ |
| 電解液セル | ○ | × |
| ゲルポリマーセル | ○ | ○ |

○:発煙・発火なし、漏液なし
×:発煙有り、漏液有り

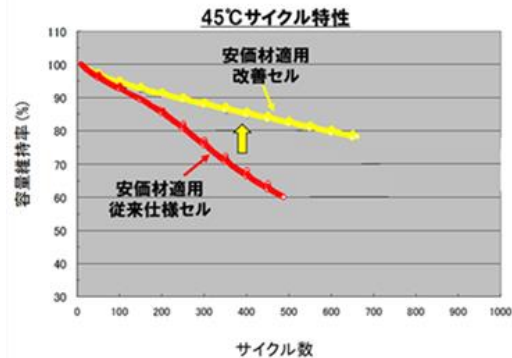
ゲルポリマーセルは、加熱試験におけるセルの耐熱温度が向上し、安全性で優位であることが確認できた。



加熱温度160℃の電圧・温度プロフィール

■セルの低コスト長寿命化

目標コストを実現可能な材料を選定し、劣化するサイクル特性の改良を検討した。



電極組成の最適化等で、サイクル特性が改善された。

■小型蓄電システムでの安全性確認

家庭用蓄電システムの製品モデル(2kW/5.53kWh)に開発したゲルポリマーセルを搭載し、各種システム実証を実施。耐熱試験として電池工業会規格SBA S1101に準拠した試験を行った。



試験前



熱暴走による強制発火で、数秒間発煙

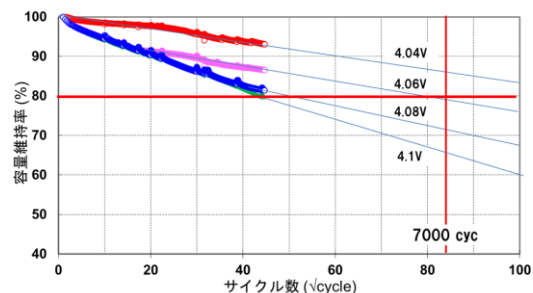


試験後

電解液を人為的に漏洩させた引火しやすい環境下で、セルの一つを過電流で強制的に発火させ、周囲の類焼や損傷等を確認。システムから発火による発煙が数秒間起ったが、システム外装、他のセルの損傷や特性への影響は無かった。

⇒ゲルポリマーセルのシステムレベルでの安全性が確認された。

充放電時の上限電圧による寿命への影響



充放電時の上限電圧の適切な設定により、目標とする容量維持率80%@7000cyc相当の寿命を実現。

「次世代フライホイール蓄電システムの開発」(鉄道総研、クボテック、古河電工、ミラプロ、山梨県企業局)

■ 開発方針

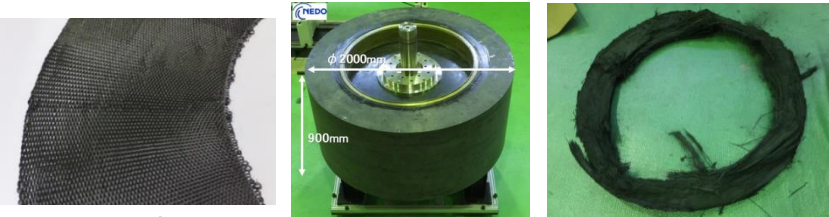
軽量、強靱な大口径CFRPロータの製造技術、高い浮上特性を有する超電導磁気軸受技術等を開発し、世界最大級の高容量フライホイール蓄電システムを完成させ、系統連系試験から太陽光発電出力の平滑化に有効であることを実証する。

■ 開発成果と達成度

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 |
|----------------------------|---------------------------------------|---|-----|
| (a) フライホイールロータの開発 | 直径 2 m | 円形螺旋織機で炭素繊維を織り、さらに樹脂形成し、強度を増すことで、世界最大直径2 mのCFRPロータ製作に成功。 | ○ |
| (b) フライホイールロータの回転安全性確認 | 回転時周速630 m/s | 直径 0.4 mのロータを用いた回転試験により周速785m/sを達成。直径1.2 mのロータを用いた破壊試験により安全性を確認 | ○ |
| (c) 高温超電導磁気軸受の開発 | 浮上力 40 kN | 米倉山実証機で浮上力40 kNを実証、信頼性試験後、高性能線材コイルを一部導入した試験で浮上力98 kNを実証。繰り返し励消磁および冷却昇温試験を実施し、期待寿命20年以上の信頼性・耐久性を確認。 | ◎ |
| (d) 安全かつ安価な真空容器の開発 | 周速630 m/sでロータが破壊しても安全 | ロータが破壊しても容器の破損による外部への影響がないことを実証。 | ○ |
| (e) 次世代フライホイール蓄電システム実証機の完成 | 米倉山太陽光発電所用の次世代フライホイール蓄電システムとしての基本性能確認 | 米倉山太陽光発電所にて、次世代フライホイール蓄電システム実証機を完成。高回転で回転軸振動が発生し、目標最高回転数毎分6,000回転に対して、事業期間内には毎分約3,000回転にとどまったが、目標最高出力300 kWは確認。 | △ |
| (f) 太陽光発電所との系統連系 | 太陽光発電出力の平滑化に有効 | 系統連系制御システムを製作し、実証試験用太陽光発電所との組み合わせによる系統連系試験で有効性を実証。充放電効率92%(PCS含まず)、87%(PCS含む)を確認。 | ○ |
| (g) 低コストシステムの確認 | 7万円/kW以下 | CFRPロータの製作工程の改良等を盛り込み、1MW低コスト機のコスト試算から、7万円/kWを確認。 | ○ |

「次世代フライホイール蓄電システムの開発」(鉄道総研、クボテック、古河電工、ミラプロ、山梨県企業局)

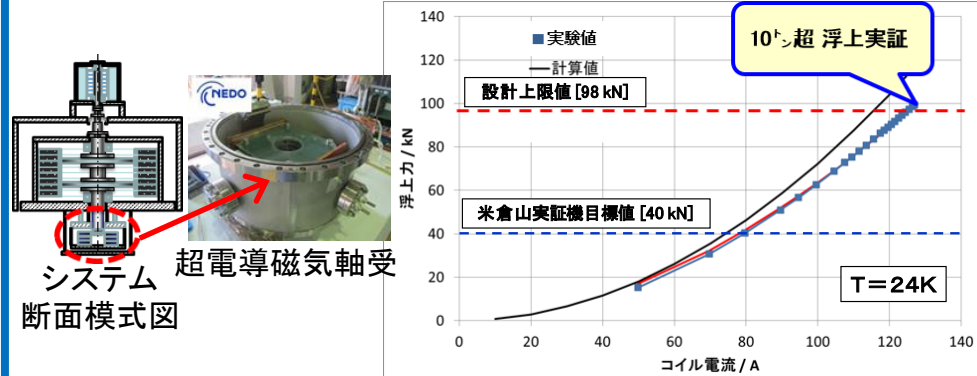
■CFRPフライホイールの開発



円形螺旋織物 実証機用フライホイール 破壊モードの検証

円形螺旋織機で炭素繊維を織り、樹脂形成し、更にそれを積層することによる、低コスト・高強度の大径フライホイール製造技術を開発した。円周方向と半径方向に炭素繊維が入り高強度であるが、万一バーストしても粉々に破壊し、金属製ロータのように大きな塊で飛散することは無い。

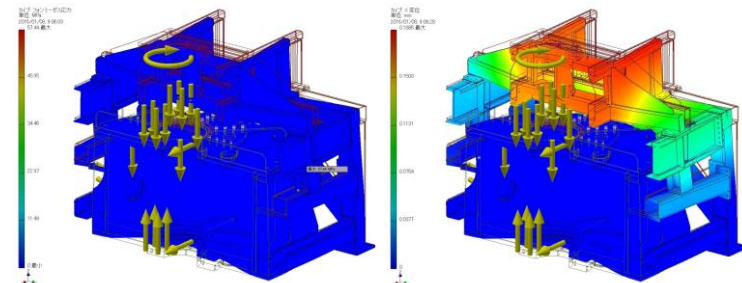
■超電導磁気軸受の開発



システム 超電導磁気軸受 断面模式図

超電導バルクと超電導コイルから 超電導コイル通電電流と浮上力なる超電導磁気軸受を開発し、10トンの浮上力を実証。なお、同等の浮上力を常電導コイルで得るには、コイル断面積は約100倍が必要。

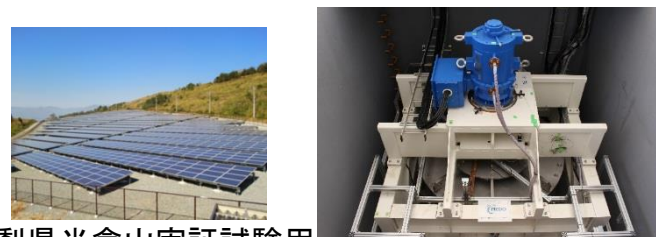
■安全かつ安価な真空容器の開発



地震時の解析結果(震度7想定)

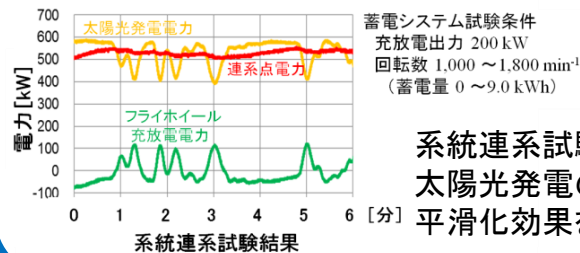
フライホイールのロータがバーストしても容器の破損による外部への影響がなく、かつ構造やステンレスの板厚などにより低コストに抑える真空容器の開発を行った。耐震性として震度7を想定し、真空容器に弾性限界レベルに対して3倍の安全率を確保したが、製作及び輸送が過剰とならず、一般的な製造工程や加工機器によって実現可能であり、低コストでの製作に見通しを得た。

■実証機と実証



山梨県米倉山実証試験用 太陽光発電所

実証機(300kW/100kWh仕様)



蓄電システム試験条件
 充放電出力 200 kW
 回転数 1,000 ~ 1,800 min⁻¹
 (蓄電量 0 ~ 9.0 kWh)

系統連系試験を実施し、太陽光発電の出力変動平滑化効果を検証。

「短周期周波数変動補償のためのネットワーク型フライホイール蓄電システムの開発」(サンケン電気)

■ 開発方針

1kWhクラスの小容量フライホイール蓄電システムと、ネットワークにより最大4,000台のフライホイールを接続可能な監視・制御システムを、汎用部品をできる限り採用して低コストで設計し、接続台数により装置容量の柔軟性の高い蓄電システムを開発する。

■ 開発成果と達成度

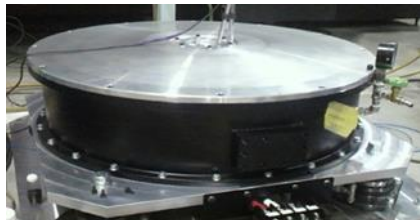
| 開発項目 | | 目標 | 成果 | 達成度 | |
|--|--------|--------------------------------|--|--|---|
| 1. フライホイールの低損失化技術 (1) 真空維持技術と冷却技術の開発 (2) 汎用的に使える低損失軸受の開発 | | 回転数: 10,000rpm以下 FW直径: 1m以下 | 汎用部品、汎用鋼材、汎用加工機を使用できる値を考慮して、回転数5,500rpm、直径0.698mと最適化した。 | ○ | |
| | | 貯蔵エネルギー: 0.83kWh以上 | 真空維持技術と低損失軸受を開発し、低損失化を行った結果、貯蔵エネルギー1kWhを達成した。 | ○ | |
| | | 機械損失 115W以下 | ピボット軸の採用等により低損失化を達成した結果、損失は112.9Wとなった。(FW風損 78.2W + 軸受損 34.7W) | ○ | |
| 2. フライホイールの高効率制御技術 (1) モータの制御技術 (2) 汎用モータ設計 (3) 高速制御装置 | | 全損失287W以下 | 電気損失 172W以下 | モータの高効率制御及び低損失化により、電気損失165W(鉄損 + 銅損)を達成した。 | ○ |
| | | | | | |
| 3. 高速通信による監視・制御 (1) セキュアで高信頼を維持できる設計 (2) 指令値伝達方式の選択 (3) 拡張性・柔軟性を考慮した標準化開発 | | 通信遅れ: 50msec以下 | 通信方式にEther-CATを採用し、50msec以下の通信遅れを達成した。 | ○ | |
| 最終目標 | 安全性 | 爆発しない | 破壊モード試験により異常時でもエネルギーの自己消費を確認した。 | ○ | |
| | 寿命 | 20年以上 | ピボット軸受の採用及び過去の運用実績より20年以上の寿命に見通しを得た。 | ○ | |
| | コスト | 7万円/kW以下 | 1,000台/月で生産した場合7万円/kW以下を達成する目論見を得た。 | ○ | |
| | システム開発 | ---- | 上記成果より実システムの概略見通したた。 | ○ | |
| | 実証試験 | ---- | 工場の電力平準化用として200kVA 3kWh実証システムを構築し評価した。 | ○ | |

第三章 研究開発成果について

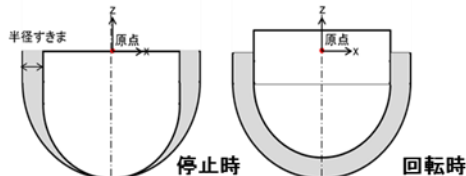
1. 「系統安定化用蓄電システムの開発」の成果

「短周期周波数変動補償のためのネットワーク型フライホイール蓄電システムの開発」(サンケン電気)

■フライホイール実証機の開発



実証機の外観

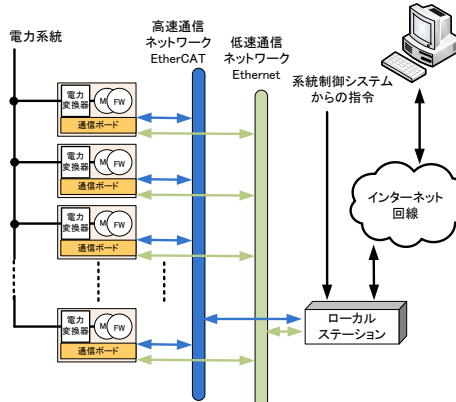


オイルを巻き込み浮上非接触となる。

ピボット軸受の動作原理

ピボット口径と支持可能なフライホイール重量の関係を計算式と実測値から明らかにし、フライホイールを支える軸受としてピボット軸の採用に目途。これにより低機械損失を達成し、フライホイール直径0.698m、定格回転数5,500rpm、容量1kWhの実証機を開発した。

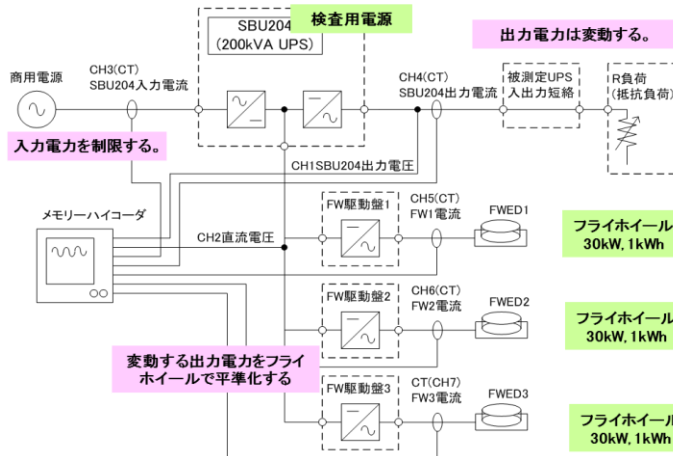
■フライホイール・ネットワーク制御システムの開発



通信ネットワーク構成

小容量フライホイール多数台を高速通信ネットワークにて統合制御するシステムを開発した。制御用通信としてEtherCAT、監視用通信としてEtherNetを採用し、4,000台のフライホイールを監視する環境において50msで電力指令伝送が可能である見通しを得た。

■実証試験(サンケンオプトプロダクツ工場内)



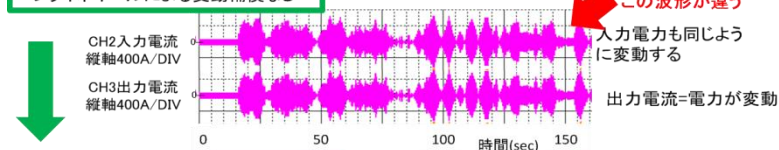
実証試験計測環境

商用電源に系統変動を模擬できる負荷抵抗器等の機器が接続された環境にフライホイール3台を接続し、実証試験を行った。

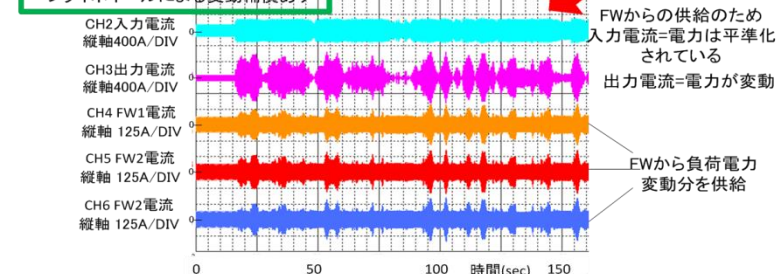


フライホイール

フライホイールによる変動補償なし



フライホイールによる変動補償あり

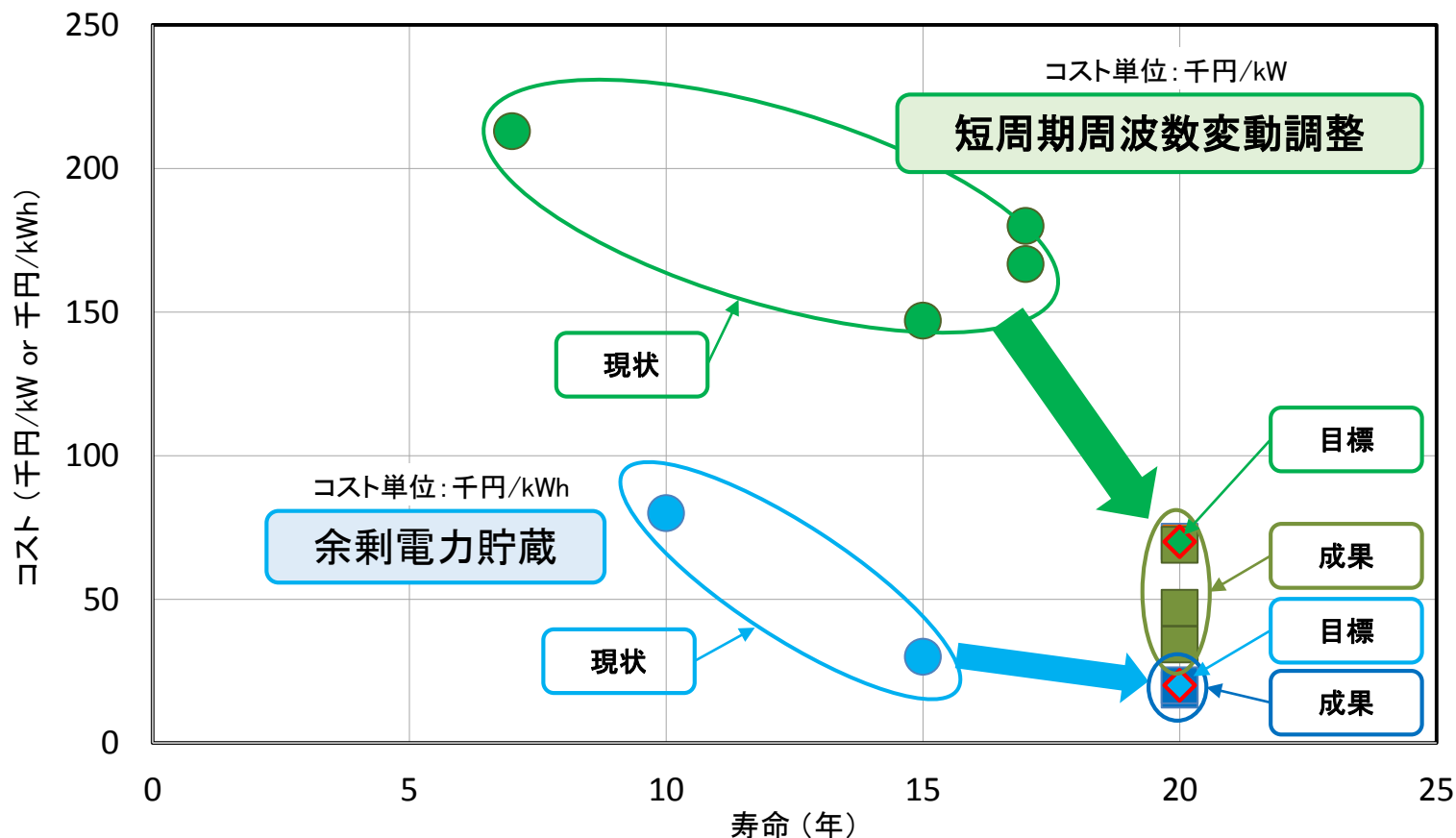


風力発電電力変動補償 模擬試験結果

風力発電の電力変動を想定し、模擬負荷をランダムに変動させた模擬試験を行い、電力平準化効果を確認した。

コスト/寿命の達成状況

▶ 本プロジェクトの成果として、いずれの実施者もコスト・寿命ともに現状から大幅に改善し、目標を達成している。また、ある実施者の短周期周波数変動調整用システムは、目標コスト(70千円/kW)から更に半減近いコストを達成している。

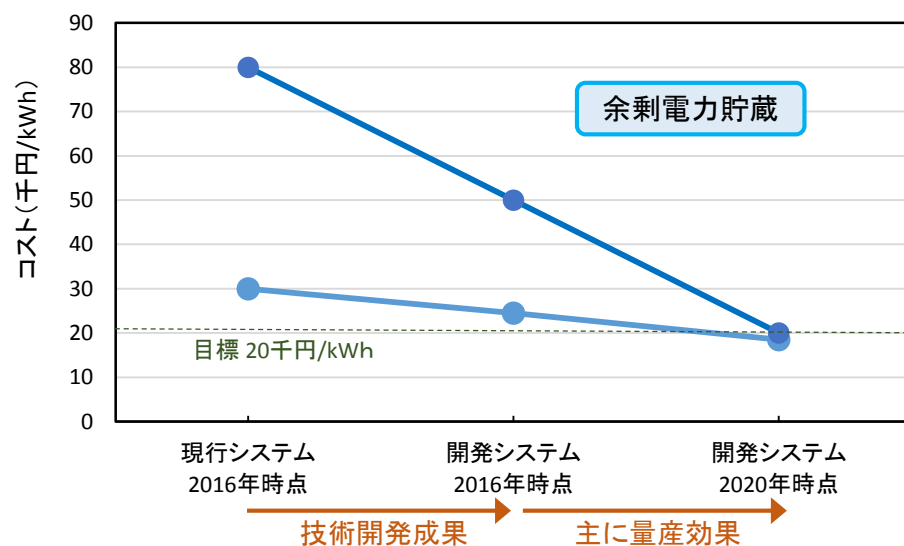
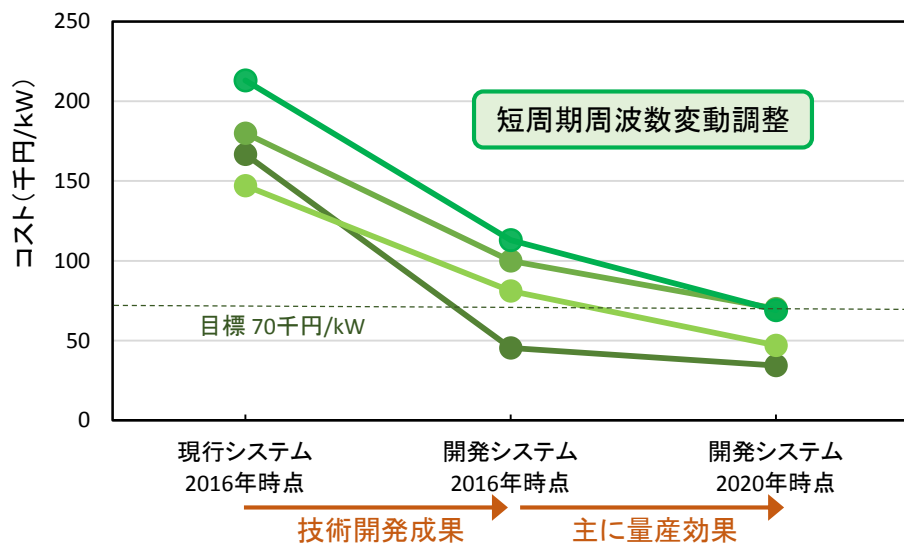


現状コスト・寿命は、本事業の技術成果を取り入れていない現行システムの2016年時点のコスト・寿命を表す。

フライホイールを除く全実施者のデータ

コストの内訳

- 2020年のコスト目標達成に向けての低コスト化は、多くの実施者において技術開発成果による寄与に加えて、量産効果による寄与も必要。
- 量産効果による低コスト化は、売上(生産量)と表裏一体の関係にあるために、市場が立ち上る時点でできる限り生産量を確保しておくことが、海外をはじめとする競合メーカーとのコスト競争上極めて重要となる。



フライホイールを除く全実施者のデータ

安全性評価・システム効率のまとめ

- 安全性の確保は、蓄電デバイスの種別に応じて実施者が評価法を選定又は開発して進めた。
- システム効率は、実証機の実態等によって測定条件が異なるが、いずれも前提である80%以上をクリアした。

| 実施者 | 蓄電システム | 蓄電デバイスの安全性評価 | 蓄電システムの安全性評価 | システム効率 ^{注2)} |
|-------------------------|--------------------|--|---|--------------------------------|
| 日立製作所 日立化成 | 鉛電池/LiC のハイブリッド | LiC安全性社内評価(IEC62133、ISC8712、UN3480、SAEJ2464、UL1642参考)、鉛電池安全性社内評価(JISC8704参考) | システムの各種インターロックの確認 | 81% |
| 三菱重工業 | リチウムイオン電池 | JIS、UL相当の社内試験で安全性を確認済 | CEマーキング認証取得済。その他EU規制である各種規制(REACH、WEEE等)に対応し、FMEA ^{注1)} 評価実施済。コンテナ内消火剤濃度解析(CFD)により、コンテナ内の発火電池の消火が可能であることを確認。 | 88~92% |
| 日本電気 NECエナジー デバイス | リチウムイオン電池 | ラミネートセルの液漏れ試験、加熱試験 JISクリア | 小型蓄電システムの耐熱焼試験 (電池工業会SBA S1101準拠) | 84%以上 |
| サンケン電気 | フライホイール | 最大回転数の2倍までのスピントスト | 破壊モード確認試験(社内) | 83% |
| 東芝 | リチウムイオン電池 | JISクリア | 簡素構造電池盤の振動試験、落下試験 FMEA ^{注1)} 実施 | 北米機 80.1%以上 欧州機 88%以上 |
| 川崎重工業 | ニッケル水素電池 | モジュールの過充電、振動試験(JIS準拠)、落下試験、低圧試験(UN勧告試験T1) | FMEA ^{注1)} 実施 | 80.2% |
| 鉄道総研ほか | フライホイール | CFRPロータの破壊試験、破裂モード確認 | 全停電模擬時停止試験 震度7地震時の真空容器弾性限界解析 ロータ回転衝突時の真空容器強度解析 | 87% |

注1) FMEA:故障モード影響度解析 注2) PCSを含むが補機・設置所内等を含むか否かの条件は異なる

「系統安定化用蓄電池システムの劣化診断基盤技術の開発」(早稲田大学)

■ 開発方針

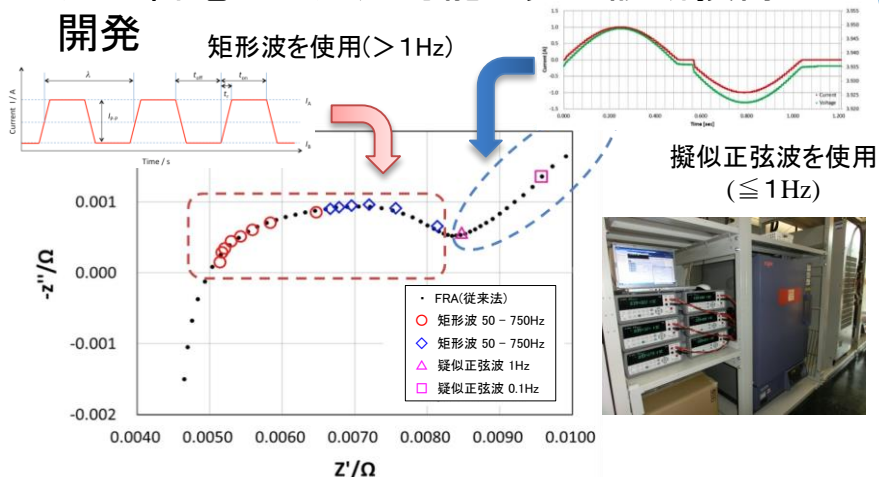
「大型蓄電池に対応した劣化診断技術及び劣化診断システム」を実現し、「電力変動プロファイル生成システムの構築」を開発して、「系統安定化用蓄電池システムの劣化診断基盤技術」を確立させる。

■ 開発成果と達成度

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 |
|-----------------------------|--|---|-----|
| (a) 大型蓄電池に適用可能な劣化診断技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 大型LIB解析において、周波数応答解析装置(FRA)を使用しない安価なシステムで、高価なシステムを使用したときと同等の周波数応答を得る。 一般的な周波数応答装置を用い、大型蓄電池の劣化部位の推定手法の道筋をつける。 | <ul style="list-style-type: none"> 周波数応答解析装置を使用しない矩形波応答で周波数応答解析が可能な劣化診断法を開発。1%未満の誤差範囲で計測可能。 大型蓄電池セル・モジュールでも一般的な周波数応答装置だけでなく矩形波インピーダンス法でも劣化部位の推定が可能。加えて、加速劣化試験の妥当性を証明。 | ◎ |
| (b) 劣化診断測定が可能な実験プラットフォームの開発 | <ul style="list-style-type: none"> LIB単セル及びアレイにおいて、安価なシステムで周波数応答を得るシステムを構築。 | <ul style="list-style-type: none"> 矩形波インピーダンス法で劣化診断可能な、LIB単セル及びアレイ等に対応した安価な周波数応答システムを構築。 不良モジュールの診断でシステムの有効性を確認。 | ○ |
| (c) 電力変動プロファイル生成システムの構築 | <ul style="list-style-type: none"> 実際の家庭負荷、太陽光発電プロファイルに基づき、様々な条件の下での尤もらしい擬似プロファイルを作成。 実際の電力系統上の任意の蓄電池配置箇所において想定される電力変動プロファイル構築。 | <ul style="list-style-type: none"> 実際の家庭負荷、太陽光、風力発電プロファイル等をデータベース化。データベースのクラスタ解析で、精度の高い擬似プロファイルの生成技術を開発。 実際の電力系統上において想定される電力変動プロファイルを電力潮流計算で構築。 | ◎ |
| (d) 電力変動プロファイルを用いた劣化診断技術の検証 | <ul style="list-style-type: none"> 実験プラットフォームを用いて、電力変動システムを用いた実験プラットフォームを運用。 10kW級のLIBを有する実験プラットフォームで実証。内製セルで劣化部位を特定。 | <ul style="list-style-type: none"> LIB単セルの実験プラットフォームで開発した電力変動プロファイルを運用し、運用中及び準定常状態で矩形波インピーダンス法を実証。取得データ解析で劣化部位の推定が可能。 100kW級の実験プラットフォームを構築。11kWhの蓄電池キュービクル及び1.1kWhのモジュールで矩形波インピーダンス法を実証し、劣化状態が判断可能。 | ◎ |

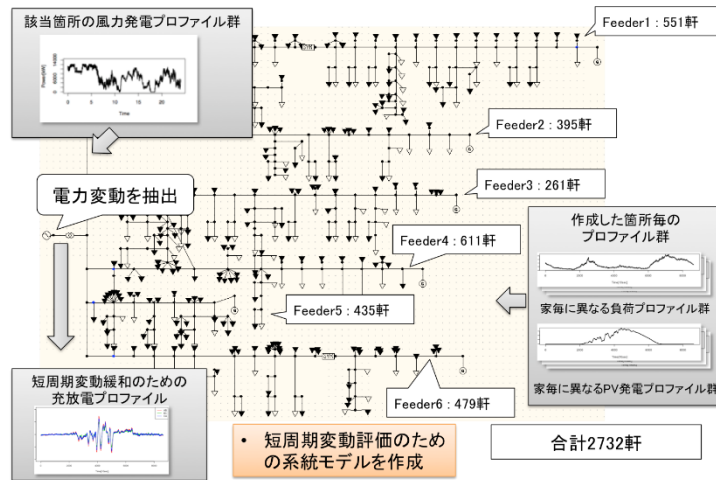
「系統安定化用蓄電池システムの劣化診断基盤技術の開発」(早稲田大学)

■ 大型蓄電池に適用可能な劣化診断技術の開発



デジタルマルチメーター、恒温槽、充放電試験装置等の、簡便な装置で劣化解析が可能な矩形波インピーダンス法を開発。

■ 電力変動プロファイル生成システムの構築



電力潮流計算に用いた配電系統構成
大規模配電系統モデル構築し、電力潮流計算を行うことで電力変動プロファイル生成システムを開発。

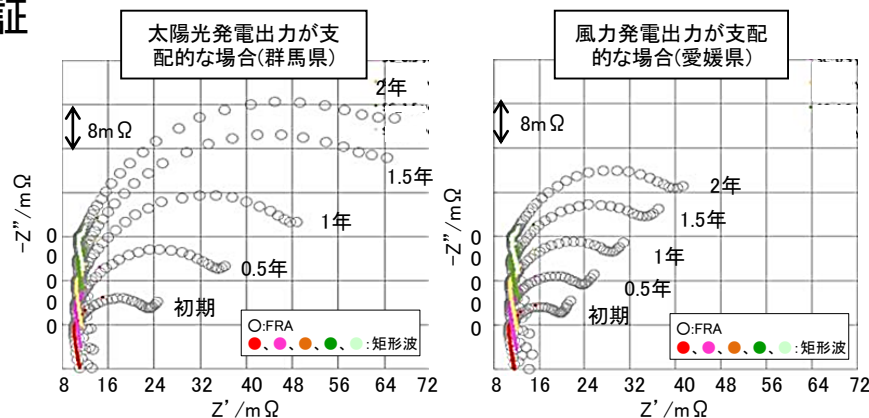
■ 電力変動プロファイルを用いた劣化診断技術の検証

- 開発した電力変動プロファイルを用いて実証を行い、劣化に係る抵抗増加を確認。
- 蓄電池の運用中に矩形波インピーダンス計測が可能な、定置用の蓄電池システムを構築、検証し、運用中でも診断可能であることも分かった。



本開発技術は大型蓄電池施設へ適用可能な手法であることが示された。

検証のために構築した蓄電池システム



電力変動プロファイルを用いた運用中のインピーダンス応答例

「過度現象を利用する大規模蓄電システムの非破壊劣化診断技術の開発」(同志社大学)

■ 開発方針

大規模蓄電システムに用いられる大型・長寿命のリチウムイオン電池の性能評価、余寿命予測のため、機器稼働時の電池端子電圧と電流の時間波形(過渡応答)から、稼働中の大規模蓄電池の劣化状態を非破壊で簡便に診断できる劣化診断技術を開発する。

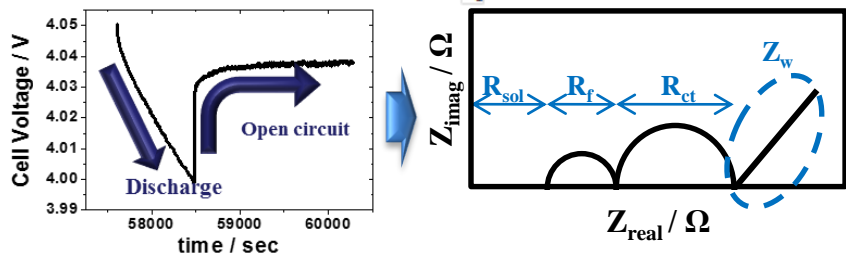
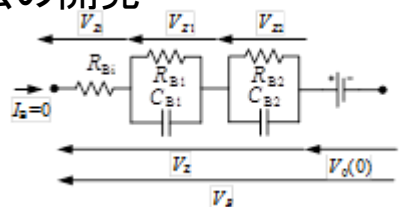
■ 開発成果と達成度

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 |
|-----------------------------------|--|--|-----|
| (a)過渡現象を利用するリチウムイオン電池の劣化診断法の開発 | ・劣化診断アルゴリズムの開発 | 各種条件・用途に対応できる4種の内部インピーダンス推定アルゴリズムと容量診断法を開発した。電池詳細データを保持しなくても、劣化診断することが可能となった。 | ◎ |
| | ・FPGAあるいはマイクロコンピュータを用いた安価な劣化診断装置のプロトタイプの開発 | 機器にも実装可能な簡易な計算法を開発し、実使用で現れる多様なデータから解析に必要なデータを抽出するソフトを実装したFPGA試作機を製作した。これに加え、組み込みシステムにも実装可能なマイコン向け簡素化によりプロトタイプを実現できた。 | ◎ |
| | ・実用を想定した様々な動作モードでの劣化診断実施による、劣化診断法の実用性検証 | 太陽光発電用蓄電システムにて稼働状態での検証評価を実施した。加えて、電動バイクや電動アシスト自転車用電池、早稲田大学との共通セル等での検証を完了し、提案法の有効性を確認できた。 | ○ |
| (b)過渡応答劣化診断法の検証および適用可能な正極・負極材料の検討 | ・開発した劣化診断法の妥当性評価 | 参照極付きラミネートセルによる正・負極インピーダンスを分離同定し、劣化セルでは正極電荷移動抵抗の増大が顕著であることを見いだした。高速サンプリング法により正極電荷移動抵抗の分離ができ、劣化判定可能なことを確認できた。 | ○ |
| | ・内部インピーダンス評価における劣化に関わる物理的意味の明確化 | ハーフセル加速試験による負極(黒鉛)、正極(LMO, NCA, NCM)のインピーダンス変化を評価し、負極では皮膜抵抗の増大、正極ではいずれも電荷移動抵抗の増大が主要な変化であることを確認した。 | ○ |
| | ・ラミネートセルによる長期サイクル試験と加速劣化試験との整合性の検証 | 長期サイクル試験、55℃加速試験後のセルにおいても、解析により、主要劣化要因が負極の皮膜抵抗増大、正極の電荷移動抵抗増大であることを検証し、過渡応答劣化診断法の適用が可能であることを確認できた。 | ○ |

◎大幅達成、○達成、△一部未達、×未達

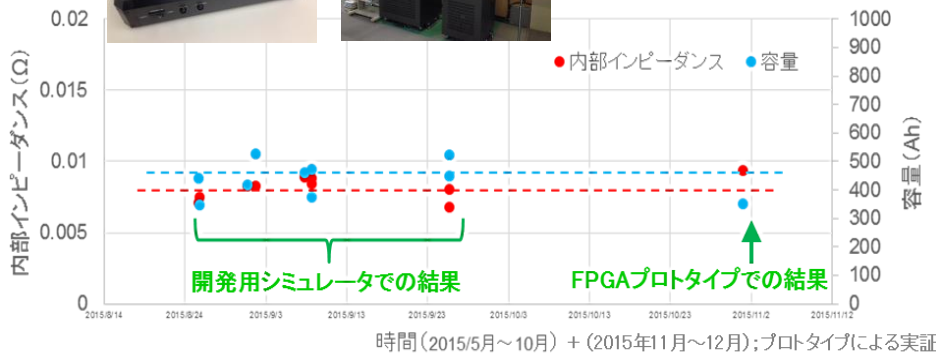
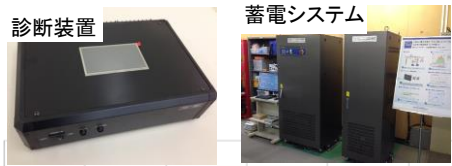
「過度現象を利用する大規模蓄電システムの非破壊劣化診断技術の開発」(同志社大学)

■ 過度現象を利用するリチウムイオン電池の劣化診断法の開発



用いる等価回路例(上)と過度応答からのインピーダンス算出イメージ(下)
過度特性からインピーダンスを算出する技術を開発し、非破壊で簡便な電池劣化診断法を開発。

■ 過度応答劣化診断法の検証

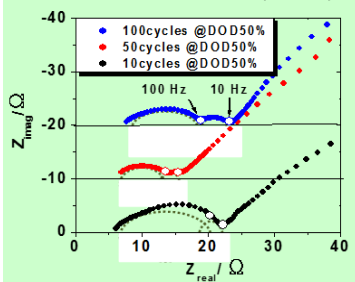


検証に用いた診断装置・蓄電システム(上)と検証結果(下)

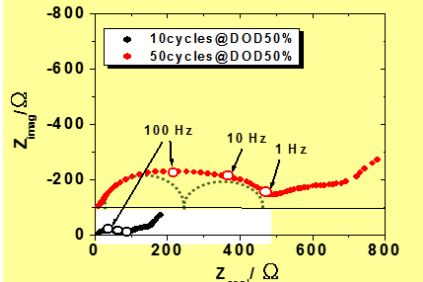
開発したFPGAプロトタイプで太陽光発電用蓄電システムの検証を完了し、有効性を確認。

■ 適用可能な正極・負極材料の検討

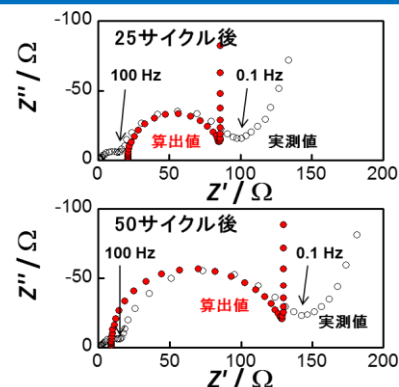
【黒鉛負極、高温(60°C)】



【LMO正極、高温(60°C)】



二極式ハーフセルでのインピーダンス解析例



過度応答劣化診断による NCM正極ハーフセルの抵抗解析結果

- ・負極では皮膜抵抗の増大、各種正極材料では電荷移動抵抗の増大が主要な変化であることを確認。
- ・5msecの高速サンプリングでの過度応答劣化診断により、正極の電荷移動抵抗を算出できることを確認。



正極の電荷移動抵抗増加が主要な劣化要因である各種正極材料を用いたセルに適用可能な手法であることが示された。

早稲田大学と同志社大学の劣化診断技術の特徴比較

- 本プロジェクトで開発した診断技術は、従来法と比較して低コストで導入可能であり、運転中のオンラインで診断可能。
- その中でも、矩形波インピーダンス法は精度に優れ、過渡現象診断法はコストに優れる。

| 項目 | 早稲田大学診断法 矩形波インピーダンス法 | 同志社大学 過渡現象診断法 | 従来法 | | | 備考 | |
|---------------------|---|--|--|--|-----------------------------------|--|---|
| | | | インピーダンス法 | | 直流抵抗測定法 | | |
| | | | 広域周波数 | 特定周波数 | | | |
| 診断法の概要 | 蓄電池の入出力信号に矩形波を重畳し、インピーダンスを測定。等価回路をフィッティングし、電池内部の各構成成分に由来するインピーダンスを測定。 | 外部から信号を入力せず、蓄電池稼働時の電圧・電力の過渡特性からインピーダンスを測定。抵抗・容量成分の分離が可能。 | 様々な周波数を入力し、インピーダンスを測定。等価回路をフィッティングし、電池内部の各構成成分に由来するインピーダンスを測定。 | 特定の周波数を入力し、周波数に応じたインピーダンス成分のみ測定。広域周波数と比較して、測定時間短縮、コスト低減効果あり。 | 直流電流を用いて電池の内部抵抗測定。 | | |
| 測定の利便性 | ○ 運転中測定 | ○ 運転中測定 | × 取り外して測定 | △ 運転を停止して測定 | △ 運転を停止して測定 | | |
| 測定精度 | 周波数範囲 | ○ 50 mHz ~ 10 kHz※1 | ○~△ 50 mHz~1 kHz※1 | ◎ 10 μ Hz~1 MHz | × 1.主に1 kHz 2.いくつかの周波数 | - | ※1:必要に応じてサンプリング速度を選択可。 |
| | バラツキ | ◎ インピーダンス 測定精度:1%以内※2 | ○~△ インピーダンス 測定精度:10%以内 | ◎ インピーダンス 測定精度: 0.3~1% | ○~△ インピーダンス 測定精度: 0.3~5% | ○ 数%程度 | ※2:1Cレート以上、出力変動がある場合、インピーダンス測定精度は3%以内となる。 |
| | フィッティングによる構成成分の分離 | ◎ 全成分を分離可能 | △ 3種類程度に分離 | ◎ 全成分を分離可能 | × 成分分離不可 | × 成分分離不可 | |
| コスト (測定単位当たり) ※3 | ○~△ ログ一代、20万円程度 | ◎ チップ代、 1,000円程度 | × 測定装置代、 700万円程度 | ○~△ 測定装置代、 10~1000万円程度※4 | △ 充放電装置代、 約50万円~※5 | ※3:バッテリーあたり(セル or モジュール) ※4:目的により大きく異なる。 ※5:測定用に装置が必要な場合 | |
| 運用方法・実績など | 通常の蓄電装置が有するBMS・パワコンによって生成可能な矩形波を利用し、運用中に診断 | BMSに診断用チップを組み込み、電池運用中に連続的に測定、診断 | 診断の都度、電池を取り外して計測する。主に研究用途で用いられる | 出荷前検査用途や鉛蓄電池やニッケル水素電池等の診断で実用化 | 充放電装置を用いて、直流電流を流して抵抗を測定 | | |

成果の普及・情報発信

| 実施者 | 特許出願 (うち海外) | 論文 (うち査読付) | 研究発表 講演 | 受賞実績 | 新聞・雑誌 等への掲載 | 展示会へ の出席 |
|------------------|----------------|---------------|------------|------|----------------|-------------|
| 日立製作所、日立化成 | 9 (2) | 4 (0) | 6 | 0 | 13 | 2 |
| 三菱重工業 | 11 (0) | 5 (4) | 8 | 0 | 6 | 22 |
| 日本電気、NECエナジーデバイス | 23 (15) | 0 (0) | 1 | 0 | 0 | 3 |
| サンケン電気 | 5 (2) | 18 (6) | 18 | 0 | 0 | 1 |
| 東芝 | 32 (15) | 4 (0) | 4 | 0 | 4 | 9 |
| 川崎重工業 | 1 (0) | 0 (0) | 7 | 0 | 5 | 4 |
| 鉄道総合技術研究所他 | 20 (4) | 7 (4) | 31 | 1 | 36 | 12 |
| 早稲田大学 | 5 (3) | 8 (5) | 34 | 2 | 2 | 0 |
| 同志社大学 | 4 (2) | 0 (0) | 29 | 0 | 0 | 3 |
| 合計 | 110 (43) | 46 (19) | 138 | 3 | 66 | 56 |

NEDOの情報発信実績

- 1) 日本高分子学会／ポリマーフロンティア21(平成24年9月7日) 講演「NEDOにおける蓄電池技術開発の最新動向」
- 2) PRiME 2012／Electrochemical Energy Summit(平成24年10月11日)講演「Japanese National Project relating to Large Scale Energy Storage System」
- 3) 防衛技術シンポジウム2012(平成24年11月13日) 講演「蓄電技術のナショナルプロジェクトと今後の展望」
- 4) 群馬県次世代産業振興戦略会議／蓄電池セミナー(平成24年12月13日)講演「次世代蓄電池開発の現状、課題とその先へ」
- 5) International Symposium on Batteries, Fuel Cells and Capacitors(平成24年12月14日) 講演「Strategies for Battery R&D in NEDO」
- 6) 日本電気化学会／電気化学セミナー(平成25年1月23日) 講演「NEDOにおける蓄電技術開発」
- 7) 日本化学会／第93春季年会(平成25年3月24日) 講演「NEDOにおける大型蓄電技術の開発」
- 8) スマートコミュニティJapan2013(平成25年5月29日～31日) リーフレット配布、パネル展示
- 9) 化学工業日報社／月刊「化学経済」(平成25年7月号) 寄稿「NEDOにおける次世代蓄電池の技術開発」
- 10) DOE International Energy Storage Database(平成25年6月) 開発システムの仕様等のデータ提供・登録
- 11) 電気化学会／第55回電池討論会(平成26年11月) 講演「NEDOにおける次世代蓄電技術開発」
- 12) 豊橋技術科学大学／未来ビークルシティリサーチセンター第18回シンポジウム(平成26年11月) 講演「NEDOにおける次世代蓄電技術開発」
- 13) シーエムシー出版／蓄電デバイスの今後の展開と電解液の研究開発(平成26年12月) 寄稿「NEDOにおける次世代蓄電池の研究開発計画」
- 14) NEDOニュースリリース(平成26年12月24日) 「1.5MWハイブリッド大規模蓄電システムを開発」
- 15) 電気化学会／電気化学セミナー・最先端電池技術2015(平成27年1月) 講演「NEDOにおけるスマートコミュニティ海外実証と次世代蓄電技術開発」
- 16) NEDO FORUM(平成27年2月12日～13日) パネル及び成果品モデルの展示
- 17) オーム社／月刊「OHM」(平成27年3月号) 寄稿「NEDOにおける大型蓄電システムの開発」
- 18) スマートコミュニティJapan2015(平成27年6月17日～19日) リーフレット配布、パネル及び成果品モデルの展示
- 19) NEDOニュースリリース(平成27年6月4日) 「伊豆大島でハイブリッド大規模蓄電システムの実証試験を開始」
- 20) NEDOニュースリリース(平成27年9月3日) 「次世代フライホイール蓄電システム実証試験施設が完成」
- 21) NEDOニュースリリース(平成27年9月30日) 「スペインで蓄電池システムによる系統安定化の実証実験を開始」
- 22) シーエムシー出版／ナトリウムイオン二次電池の開発と二次電池の市場展望(平成27年11月) 寄稿「NEDOにおける次世代蓄電技術開発の状況」
- 23) 電気化学会／電気化学セミナー・最先端電池技術2016(平成28年1月) 講演「NEDOにおける次世代蓄電技術開発とスマートコミュニティ海外実証」
- 24) 近畿化学協会／近化電池セミナー(平成28年11月) 講演「NEDOにおける次世代蓄電技術開発」

成果の実用化・事業化の考え方(定義)

「系統安定化用蓄電システムの開発」

【実用化・事業化の定義】

本プロジェクトで開発された蓄電池、蓄電デバイス、蓄電システムの試作品やその運転・制御技術等の販売・利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献すること。

「共通基盤研究」

【実用化の定義】

本プロジェクトで開発・蓄積された蓄電池劣化診断技術に係る基盤的知見やデータベース等が、蓄電池関連産業界において利用されること。

系統安定化用蓄電システムの事業化戦略

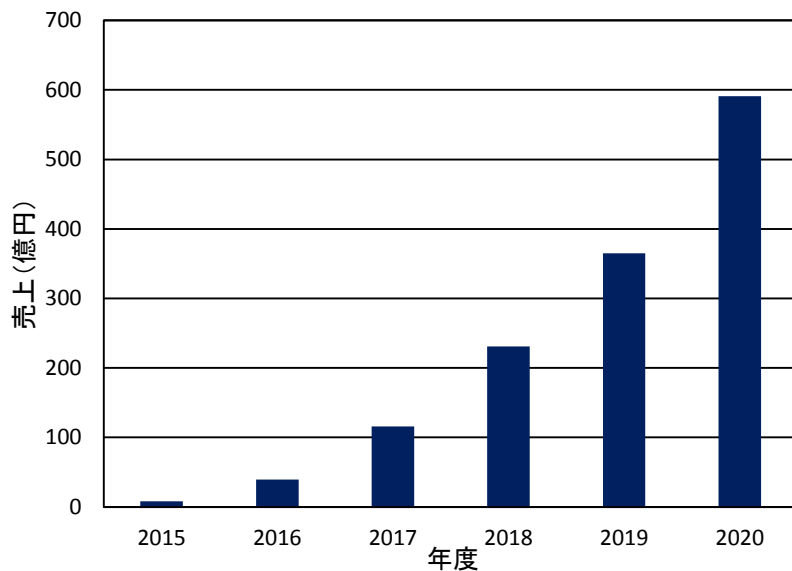
- ▶ 本プロジェクトの開発成果は各企業グループによって、2016年度からは既存市場向け又は比較的小型のシステムに適用され、2020年度前後からはより大型のシステムに適用されて事業化されていく見込みである。
- ▶ 実証試験の実施に際して協力関係を構築した国内外の電力会社は、今後市場が拡大する大型蓄電システムの市場におけるアーリーアダプターになり得る存在であり、ビジネス展開に向けた足掛かりになると考える。

| 企業グループ | 事業展開シナリオ |
|--------|--|
| A | 協力会社での生産体制を整え、開発したシステムの特長が生かせる顧客先での実証・販売を進める。同時に電力会社との共同検討を継続して、系統用途としての事業化を進める。 |
| B | 2016年度から本プロジェクトの成果を生かした高出力タイプと高容量タイプの蓄電システム製品化を進め、高出力・長寿命といったセルの特長を前面に出しながら、蓄電システムの市場拡大に合わせて拡販を進める。 |
| C | 既に既存の顧客事業向けに本プロジェクトの成果を活用中。2016年度からは離島やマイクログリッド等、高速充放電が可能という特長が生かせる数MWh級、2019年度頃からは広域系統向け数十MWh級システムの事業化を進める。 |
| D | 更に低コスト化を追求した商用機の開発と事業化の準備を進め、2018年度頃に小出力の第1世代機を上市して需要家及び系統向けに早期に実績を作り、2022年度頃に大出力の第2世代機を上市する。 |
| E | 2016年度から離島など地域の電力運用や大規模需要家等、比較的小規模な分散型システムの導入を進め、2020年度以降は、可変速揚水代替システムのような大規模集中型システムの事業化を同時に進める。 |
| F | 2016年度から伸長市場である米国の周波数調整向けや、中南米、東南アジアを中心とした離島や工業団地等の分散型電源向けに蓄電システムの販売を行う。 |
| G | 2016年度から次世代システムの量産適用を行い、2018年以降には本プロジェクトの成果を生かし更に安価長寿命化した材料を導入した次々世代システムを、スマートグリッド系統用として展開する。 |

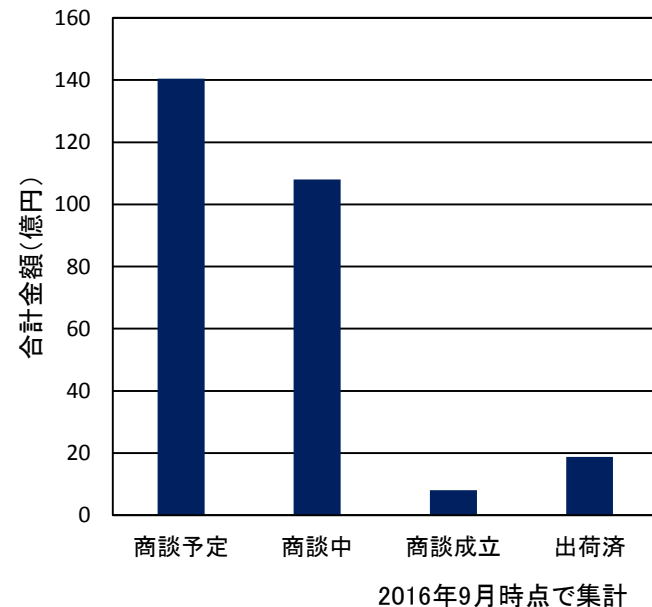
系統安定化用蓄電システムの売上計画及び商談状況

- ▶本プロジェクトの成果を取り入れた蓄電システムの売上計画は、プロジェクト終了から5年後に約600億円/年(システム容量で約780MWh/年)のビジネスに成長する見込みであり、経済効果が期待できる計画となっている。
- ▶本プロジェクトの成果を取り入れた蓄電システムは、実施者ごとに顧客との商談が進みつつある。商談中・商談成立・出荷済の案件は、合計で約135億円(システム容量で約185MWh)となっており、2017年度までの累計売上約165億円(システム容量で約190MWh)の実現に向けて鋭意、営業活動を展開しているところである。

企業7グループの売上計画



企業7グループの商談状況



劣化診断技術の企業との実用化検討状況

▶本プロジェクトの成果を基に各企業と共同研究が進んでおり、企業の蓄電池、蓄電システム、測定器及び配電システムモデル開発のための評価への活用や数年後の製品化を見据えた取り組みが行われている。

| 共同研究先 | 件数 | 共同研究内容 | 実用化への展望 |
|----------------------|----|---------------------------|----------------------------|
| 定置用システムメーカー及び蓄電池メーカー | 4 | 劣化診断システムの開発 | 今後、企業の実証試験を経て製品化 |
| | | メーカーの蓄電池開発のための状態・劣化評価 | 随時、評価結果を蓄電池開発に反映 |
| 電力会社 | 3 | 電力会社の配電システムモデル構築への活用 | 随時、評価結果を企業の実配電システムモデル開発に反映 |
| 測定器メーカー | 4 | 電気化学評価装置の開発 | 数年後の独立型評価機器実用化を目指している |
| | | メーカーの測定機器開発のための蓄電池状態・劣化評価 | 随時、評価結果を蓄電池評価機器開発に反映 |
| その他 (自動車メーカーなど) | 7 | 蓄電池状態評価技術及び機器の開発 | 数年後の製品化及び実装化を目指している |
| | | メーカーの蓄電池開発のための状態・劣化評価 | 随時、評価結果を電池開発に反映 |

上記の他、数件の引き合いもあり、今後の成果の実用化拡大が見込まれている。