米国DOEの蓄電技術研究開発

- Office of Basic Science
  - EFRC (Energy Frontier Research Centers)
    - 基礎研究。10-20人のグループ。幅広。5年+5年。約$3M/年。
      2009年46チームでスタート。2014年に32チーム（内22は延長）で再スタート（4年）。
    - 蓄電技術のみを対象とするプロジェクト
      - アルゴンヌ国立研究所 「電気エネルギー貯蔵」
      - メリーランド大学 「電気エネルギー貯蔵のための精密多機能ナノ構造の科学」 など
  - Energy Innovation Hubs
    - “Batteries and Energy Storage” Innovation Hub =Joint Center for Energy Storage Research (JCESR)（up to $120M/5年）
- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Vehicle Technologies Office
  - 「EV Everywhere initiative」を背景に、EV向け高性能、長寿命、軽量、低コスト蓄電池の研究開発を支援。2017年度蓄電技術研究開発予算1億3,000万ドル。
- ARPA - E (Advanced Research Projects Agency-Energy)
  - 目的指向ハイリスク研究。個人、小グループ。集中。1-3年。$1-7M/年
  - 120余のプロジェクトのうち、BEESTプログラム(輸送用バッテリ対象) の10プロジェクトを含む、少なくとも20プロジェクトは蓄電技術関連。2016年IONICS開始。

米国DOEの蓄電技術研究開発

Basic Energy Sciences

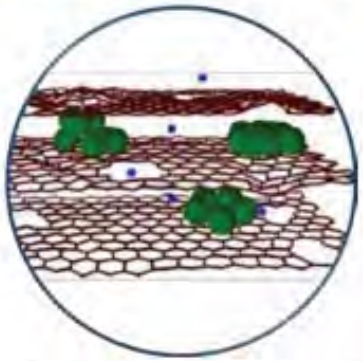
U.S. DEPARTMENT OF ENERGY | Office of Science

Advanced Research Projects Agency-Energy

arpa·e

EERE-Vehicle Technologies Program

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY | Energy Efficiency & Renewable Energy



Materials Research

- structure and interfaces
- measurement
- mechanisms
- analyses
- user facilities

Cell Research & Development

- new chemistries
- electrodes
- electrolytes
- microstructure

Battery System Development

- design and construction
- life testing
- cost reduction
- safety and durability

0	1	2	3	4	5	6

Technology Readiness Level (TRL)

JCESR | JOINT CENTER FOR ENERGY STORAGE RESEARCH

2012.12～

5－5－5

5年以内にエネルギー密度　5倍

コスト　1/5 を実現

・多価インターカレーション（Mg^{2+}他）

・化学変換（Li空気、Li硫黄他）

・有機レドックスフロー

電解質ゲノム

Translational Development Teams

Director’s message 2016.11

プロトタイプ

Grid:有機分子を用いたレドックスフロー電池

輸送：リチウム硫黄電池

（酸化グラフェン保護リチウム金属負極、

多硫化物イオン微溶解性電解質

硫黄−ポリマー複合体カソード）

Electrolyte Genome/Materials Projec

24000（多価インターカレーション化合物：1500、有機物：21000）

EERE/VTO

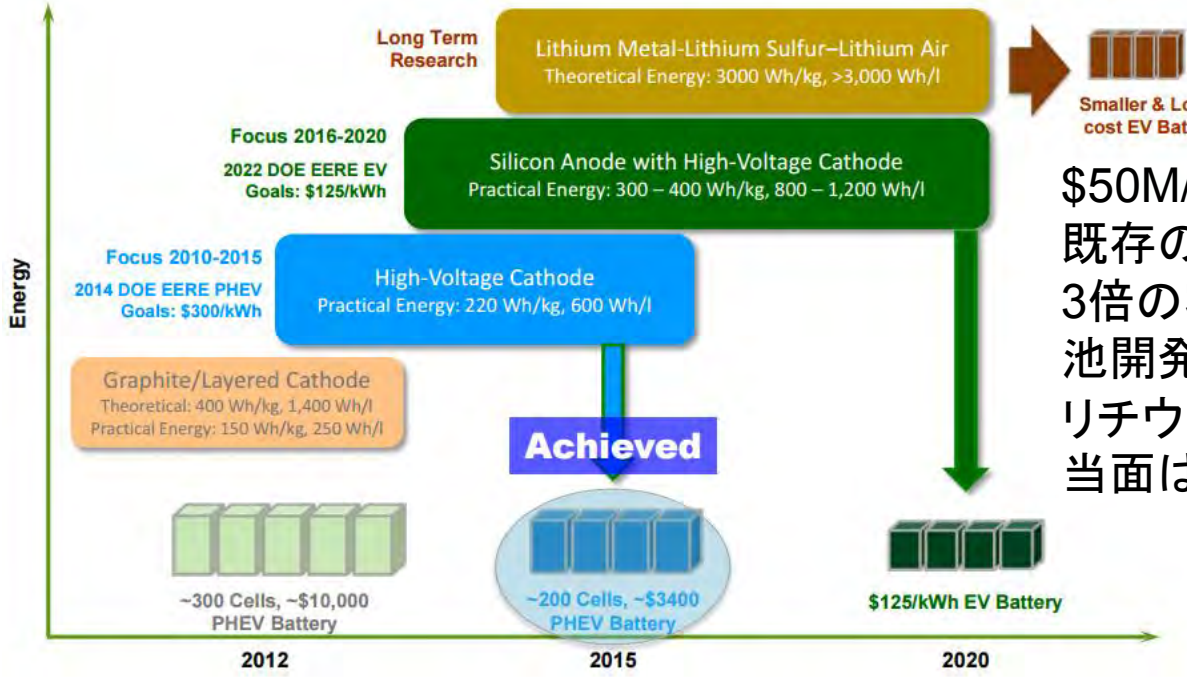
March 7, 2012: President Obama Launches **EV-Everywhere Challenge** as Part of Energy Department's Clean Energy Grand Challenges

Enable U.S. companies to produce plug-in electric vehicles that are as affordable and convenient as today's gas-powered vehicles by 2022

July 21, 2016: Obama Administration Announces Federal and Private Sector Actions to Accelerate Electric Vehicle Adoption in the USA

・in collaboration with the Administration, nearly 50 industry members signed on to the ***Guiding Principles to Promote Electric Vehicles and Charging Infrastructure***.

・Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) will Lead Research to Achieve the Strategic **Battery500** Goal; to triple the specific energy (to 500 WH/kg) relative to today's battery technology while achieving 1,000 electric vehicles cycles..10M$/yr x 5yr



Battery500コンソーシアム

4国立研究所、5大学、
1民間企業

$50M/5y

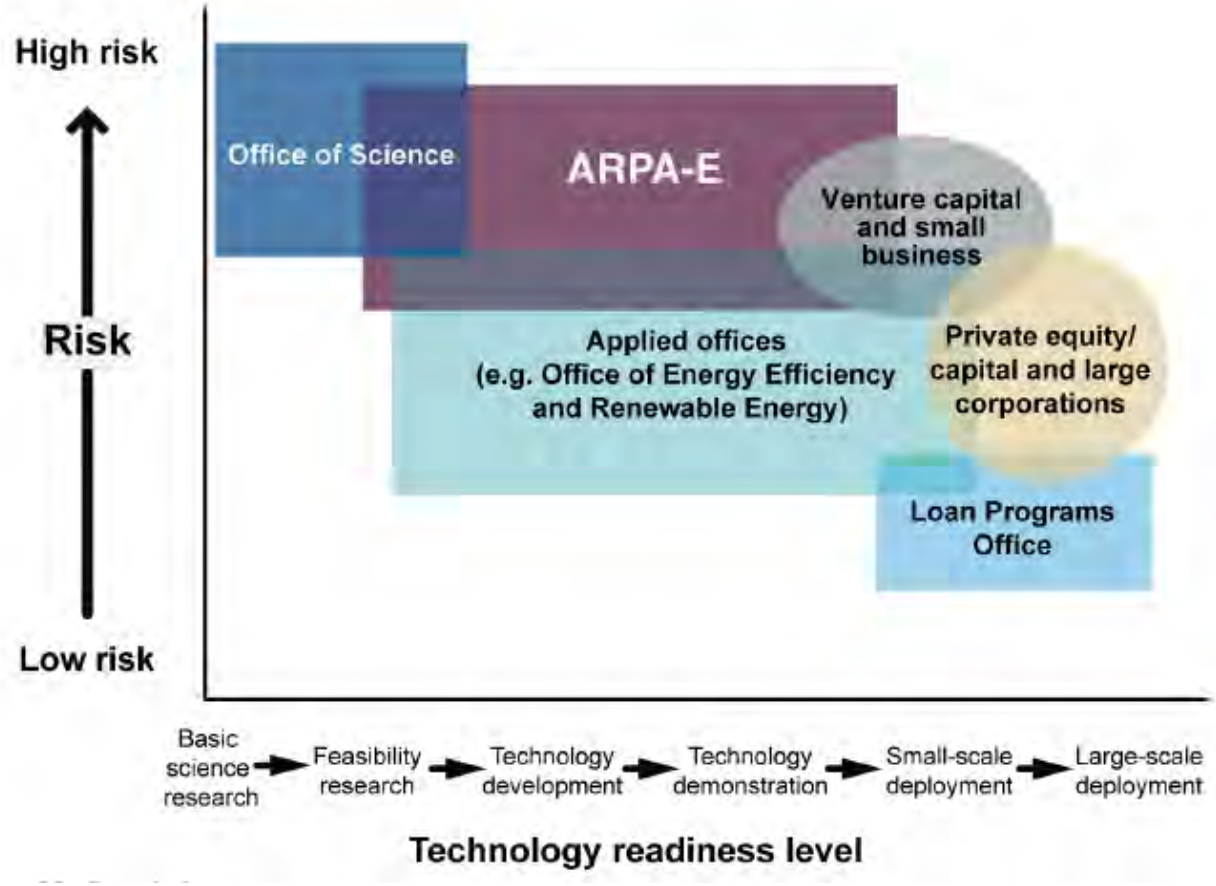
既存のEV用蓄電池（170～170Wh/kg）の3倍の容量に相当する500 Wh/kgの蓄電池開発を目指す。

リチウム金属電池を研究の中心とするが、当面はシリコン負極。

ARPA-E蓄電池研究開発プログラム一覧

プログラム	開始時期	概要
BEEST（Batteries for Electrical Energy Storage in Transportation）	2010年	EV向け電池の研究開発支援を対象としたプログラム。ガソリンと同等のコストと性能を備えた電気自動車の開発を目的とし、高出力且つ低コストの蓄電池の研究開発プロジェクトを支援。従来からあるリチウムイオン電池の性能の大幅な改良を目指す他、金属電池、リチウム硫黄電池、リチウム空気電池といった次世代蓄電池研究開発を支援
GRIDS（Grid-Scale Rampable Intermittent Dispatchable Storage）	2010年	再生可能エネルギー貯蔵システムを必要に応じてグリッド上の任意の場所に設置するため、モジュラータイプの貯蔵技術の研究を支援。フロー電池をはじめ先進的な蓄電池の研究開発が対象
AMPED（Advanced Management and Protection of Energy Storage Devices）	2012年	蓄電池の安全性・信頼性、パフォーマンスの向上を目指し、蓄電池の試験、モニタリング、センサーや制御装置等のシステム、ソフトウェア等の研究開発を支援
RANGE（Robust Affordable Next Generation Energy Storage Systems）	2014年	EVの普及を目的として、既存の電池の性能、コスト、及び安全性を改善するために、水性電池、非水性で防護機能が搭載された電池、固体電池の開発・改良に関連するプロジェクトを支援
CHARGES（Cycling Hardware to Analyze and Ready Grid-Scale Electricity Storage）	2014年	ARPA-Eの支援を受けて開発された蓄電池技術の検証を実施するためのプログラム。2件のテストサイトで多様な蓄電池技術の検証が行われている。
OPENプログラム	2009、2012、2015年開催	エネルギー関連技術分野における先進的な研究を支援することを目的とした、研究者持ち込み型の研究支援プログラム。2015年には、電気自動車用エネルギー貯蔵技術、グリッド用エネルギー貯蔵技術を含む10分野における研究プロジェクト41件に計1億2,500万ドルに及ぶファンドを提供
IONICS（Integration and Optimization of Novel Ion-Conducting Solids）	2016年	固体イオン伝導体を利用した高性能のセパレータや電極等、蓄電池・燃料電池を構成する部品を統合するための製造方法に係る研究を支援。運輸セクタ、またグリッドへ統合されるエネルギー貯蔵システムの性能向上を目指す

[1] BEEST, ARPA-E,: https://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-programs/beest、[2] https://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-programs/grids
[3] https://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-programs/amped、[4] RANGE, ARPA-E: https://arpa-e.energy.gov/?q=programs/range
[5] https://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-programs/charges、[6] OPEN 2015: https://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-programs/open-2015
[7] https://arpa-e.energy.gov/?q=arpa-e-programs/ionics　　JST(ALCA-SPRINGの委託により各種資料に基づきワシントンコア作成



The budget reduction

- $5.8 billion, or 18%, from NIH
- $900 million, or a little less than 20%, from the DOE's Office of Science.
- Eliminate climate science programs throughout the federal government, including at the EPA.
- Eliminate some programs that help bridge the divide between basic research and commercialization including ARPA-E. About $300M would be eliminated.

欧州の蓄電技術研究開発(2011年 CRDS調べ)

EU:産学官連携による国家主導の蓄電池開発を開始

- European Green Car Initiative(EGCI)、持続可能な交通輸送システム
- FP7 SUPERLION project 2008- €4.1M スウェーデン ウプラサ大
- 2010年、EU域内で官民一体の電気自動車開発計画
- アメリカとの連携:「米国ーEUエネルギー評議会」を立ち上げ。政府、電力会社役員、他で構成。将来の電力網においてエネルギー貯蔵技術の要件を定め、最も可能性の高い技術を検討。物質科学研究をさらに進める必要があると結論。

独:

- 連邦教育研究省(BMBF)が4.2億ユーロでLiイオン電池2015プロジェクトを開始(2009-)
- メルケル首相主導によるｴﾚｸﾄﾛﾓﾋﾞﾘﾃｨ国家ﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑを開始(2010-2020年)
  100万台の電気自動車をドイツ国内に導入しする目標を設定。

仏:

- グルノーブルにエネルギー技術に特化した中核的研究拠点の創設を発表。
- 2009年、電気自動車とプラグインハイブリッド車の開発促進に向け「クリーンエネルギー自動車国家計画」。2020年までに200万台、25年までに450万台の市場投入を目標。世界のリーダーを目指す。

英:

- 技術戦略委員会(TSB)の下に「低炭素自動車革新プラットフォーム(LCVIP)」
  5年、TSB2,000万ポンド、運輸省1,000万ポンド、地域開発公社3,000万ポンドを拠出
- EPSRC 低炭素技術自動車大学主導型基礎研究 300万ポンド

欧州の蓄電技術研究開発(2017年追加)

EU:

- European Green Car Initiative(EGCI) 2009~2013 →
  European Green Vehicles Initiative (EGVI) (Horizon 2020)
  蓄電池に限らない、軽量化、パワエレ、安全、その他
- FP7 2007-2013→ Horizon 2020 (€70.2billion/2014~2020)

Battery2020:車載用蓄電池EU競争力(2013-2016)、MARS-EV:電気自動車用Liイオン電池高耐久性(2013-2017)、STABLE::電気自動車用高容量Li空気電池(2012-2015)、Graphene:グラフェン応用技術(蓄電池以外も含む)(2013-2016)

独:

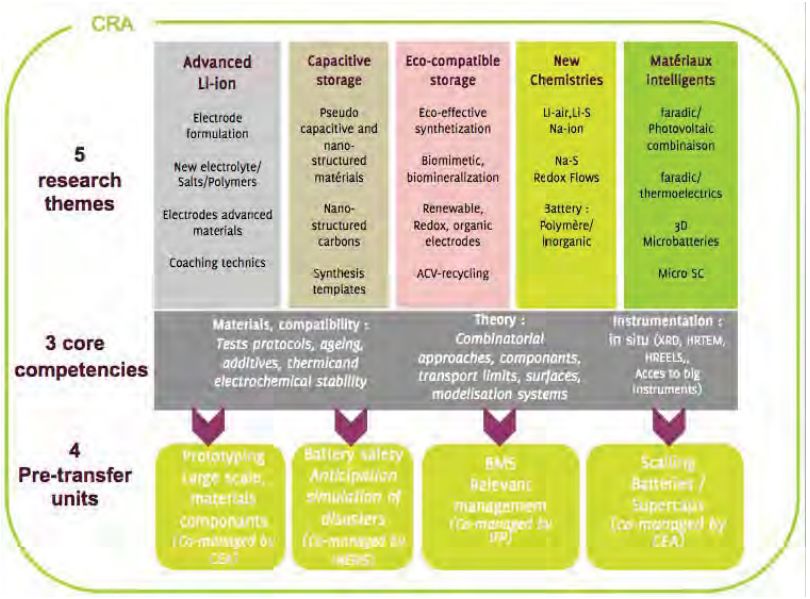
●連邦教育研究省(BMBF) (€60M)+Innovation Alliance “Lithium-ion battery LIB 2015”(BASF, BOSCH, EVONIK, Li-Tec, VW:€360M): LIB2015 (2009-2013)

●英国:

post-Brexitの中心課題として電池を取り上げ、電池技術、エネルギー貯蔵とGrid技術に関する新研究所を作り、世界のリーダーを目指す。(Building our Industrial Strategy:green paper 2017.1 英国政府).

●仏:

RS2E (Réseau sur le stockage électro chimique de l’énergie=research network on electrochemical energy storage: 2010.7~):
国研17、産業界パートナー15、政府系機関3



中国の二次電池開発(2011年　CRDS調べ)

現状:

- これまでの863計画10年間で、110Wh/kgレベルまで開発。973計画でも材料開発
- 上海万博、深センEタクシーなどで、実用化デモも実施

今後:

- 4省合同大規模EVデモプログラム(2009-12)
- EV普及補助政策
- 国家EVチーム(8月設立)による基幹技術開発と大量生産の促進
- 863計画(2011-15)　Liイオン電池改良技術、新材料、『先進電池/主要材料の新奇概念(novel concept of advance batteries as well as key materials)』、目標150Wh/kg以上

電気自動車・新エネ車の国家開発計画(2011-20)案を策定:

- EVとPHEVの目標: 2015年に50万台[電池は150Wh/kg、2元/Wh]、2020年に500万台[電池は300Wh/kg、1.5元/Wh]
- 中央政府は、中核的技術の開発や応用展開に1千億元以上を投入予定(EV・PHEV購入補助も含む)

Ciengwei XIA (Expert Panel for Efficient and New Energy Vehicles Project of 863 Program, MOST, China) et al,　第51回電池討論会 International Session, 1I06 (2010年11月)

中国の二次電池開発(2017年　追加)

● 863計画と973計画は2016年国家重点研究開発計画に統合

電池産業5ヶ年計画 「生産大国」から「技術強国」へ 中国化学与物理电源行业协会　2017.2.8

（1）2020年までに電池製品の生産高を4000～5000億元（約6兆4000億円～8兆円）に向上させ、年間平均成長率を10～20%にする、
（2）鉛蓄電池の成長率を10～20%、リチウムイオン電池は20～30%にする、
（3）電池の輸出額は年間平均で10～15%増加、その中でリチウムイオン電池の割合は55%
年間売上高が500億元（約8000億円）を超える企業を五つまで育てる。

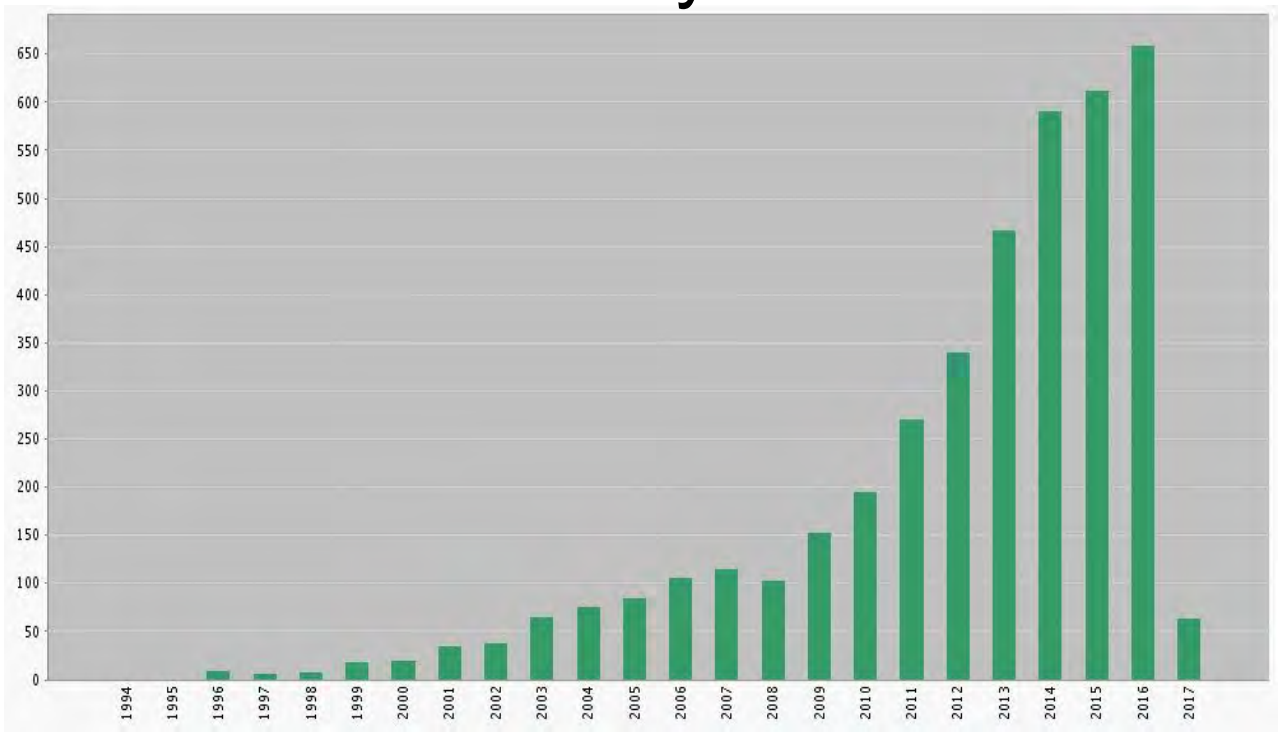
リチウムイオン電池分野では、以下の14のプロジェクトを2020年までに推進
1. 新世代のリチウムイオン電池材料の研究、評価、量産と応用、2. 包材にアルミラミネートフィルムを使うリチウムイオン電池の開発、量産と応用(体積エネルギー密度750Wh/l以上)、3. 中国産の民生用リチウムイオン電池と外国製品の比較データベースの構築、4. アルミラミネートフィルムを使った、薄型・フィルム型リチウムイオン電池の材料や生産プロセスの研究開発と応用、5. EV用リチウムイオン電池の研究開発(セル単体の質量エネルギー密度300～350Wh/kg以上、サイクル特性3000回（放電深度80%時）、コスト1元/Wh以下 ）、6. PHEV用リチウムイオン電池の研究開発(比出力最高で3000W/kg、質量エネルギー密度200～250Wh/kg、サイクル特性が5000回（放電深度60%時））、7.エネルギー貯蔵用リチウムイオン電池の開発と評価システム(使用寿命15～20年)、8. 起動用リチウムイオン電池の研究開発 (-30℃、極寒冷地において、700A以上の高い起動電流）、9 .正極、負極、セパレーター、電解液などリチウムイオン電池のキー材料の全自動モデル生産ライン、10. ポリマー電池の全自動モデル生産ライン、 11. 円筒型電池の全自動モデル生産ライン、12.大容量電池パックの全自動モデル生産ライン、13. 大容量動力バッテリーの安全評価システムとデーターベースの構築、14. 動力バッテリーのシステム設計、評価、データーベースの構築

http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/column/15/011300091/022800038/?ST=print
http://www.ciaps.org.cn/news/show-htm-itemid-23549.html

参考

世界的動向（論文）

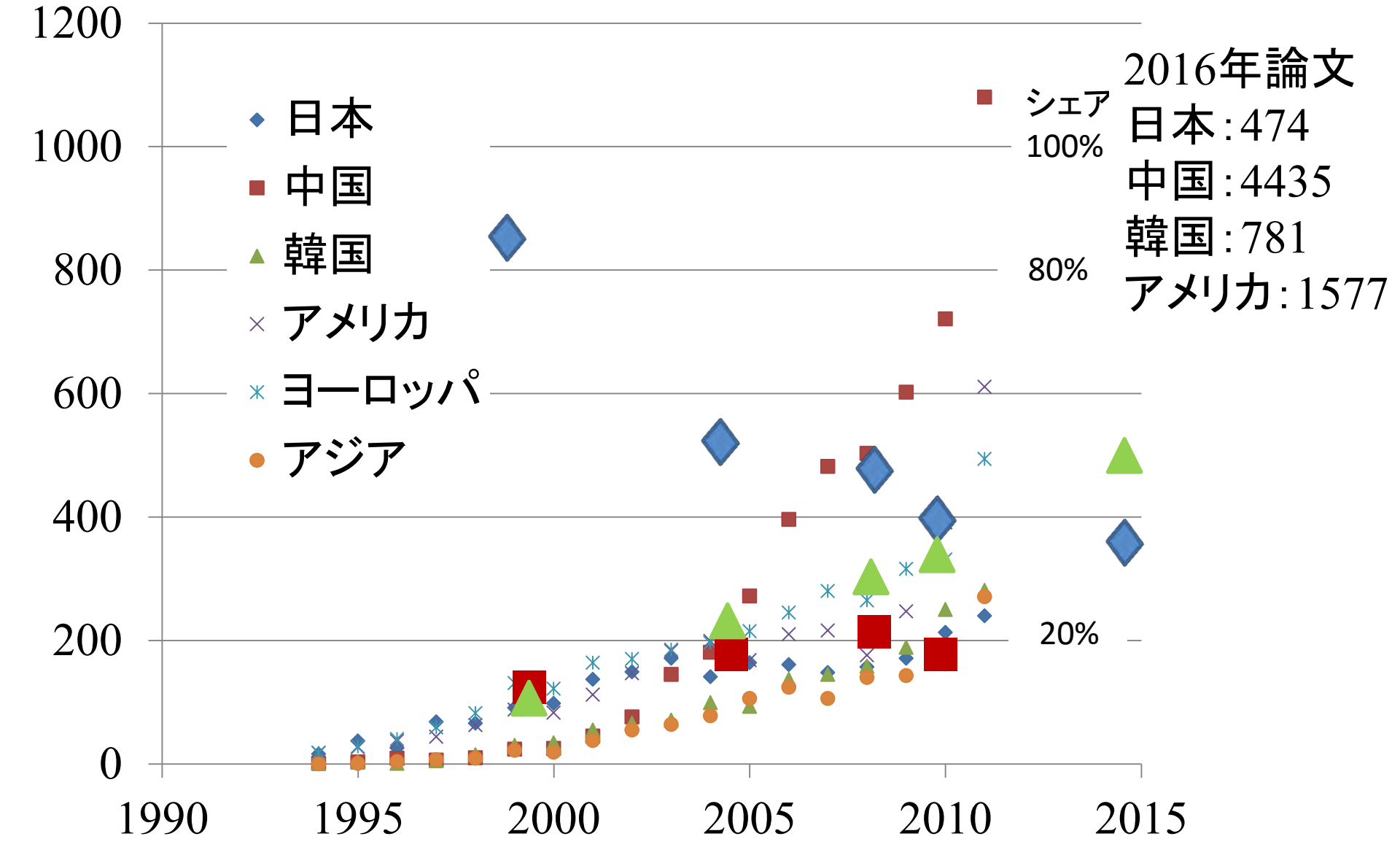
Li ion battery



China	20,789	43.3 %
USA	9,285	19.3 %
SOUTH KOREA	5,020	10.4 %
JAPAN	4,206	8.75 %
GERMANY	2,449	5.10 %
FRANCE	1,895	3.94 %
INDIA	1,704	3.55 %
SINGAPORE	1,471	3.06 %

WANG Y	527	1.10%
WANG J	412	0.86%
LIU J	404	0.84%
ZHANG Y	395	0.82%
LI J	393	0.82%
WANG L	375	0.78%
LI Y	362	0.75%
YANG J	358	0.75%
LIU Y	355	0.74%
WANG ZX	348	0.72%
YANG Y	326	0.68%
LIU HK	319	0.66%
ZHANG H	318	0.66%
SUN YK	312	0.65%
KIM J	311	0.65%
AMINE K	300	0.62%
LI H	300	0.62%
DAHN JR	296	0.62%
CHEN J	288	0.60%
LI L	287	0.60%
LI XH	279	0.58%
ZHANG J	263	0.55%

Liイオン電池論文発表件数/市場シェア（～2011年）



■大型二次電池の世界市場

車載用LiB市場の国別シェアの推移

（単位：MWh）

メーカー	CY2012	構成比	CY2013	構成比	CY2014	構成比	CY2015	構成比
中国	1,048	29.4%	1,122	16.9%	5,570	42.0%	17,652	63.4%
前年比	-		107.1%		496.4%		316.9%	
日本	1,670	46.9%	4,402	66.1%	5,775	43.6%	7,657	27.5%
前年比	-		263.6%		131.2%		132.6%	
韓国	766	21.5%	1,023	15.4%	1,592	12.0%	2,439	8.8%
前年比	-		133.6%		155.6%		153.2%	
その他	75	2.1%	108	1.6%	318	2.4%	105	0.4%
前年比	-		144.0%		294.4%		33.0%	
合計	3,559	100.0%	6,655	100.0%	13,255	100.0%	27,853	100.0%
前年比	-		187.0%		199.2%		210.1%	

[出所：矢野経済研究所推計]

富士経済　2016年7月21日

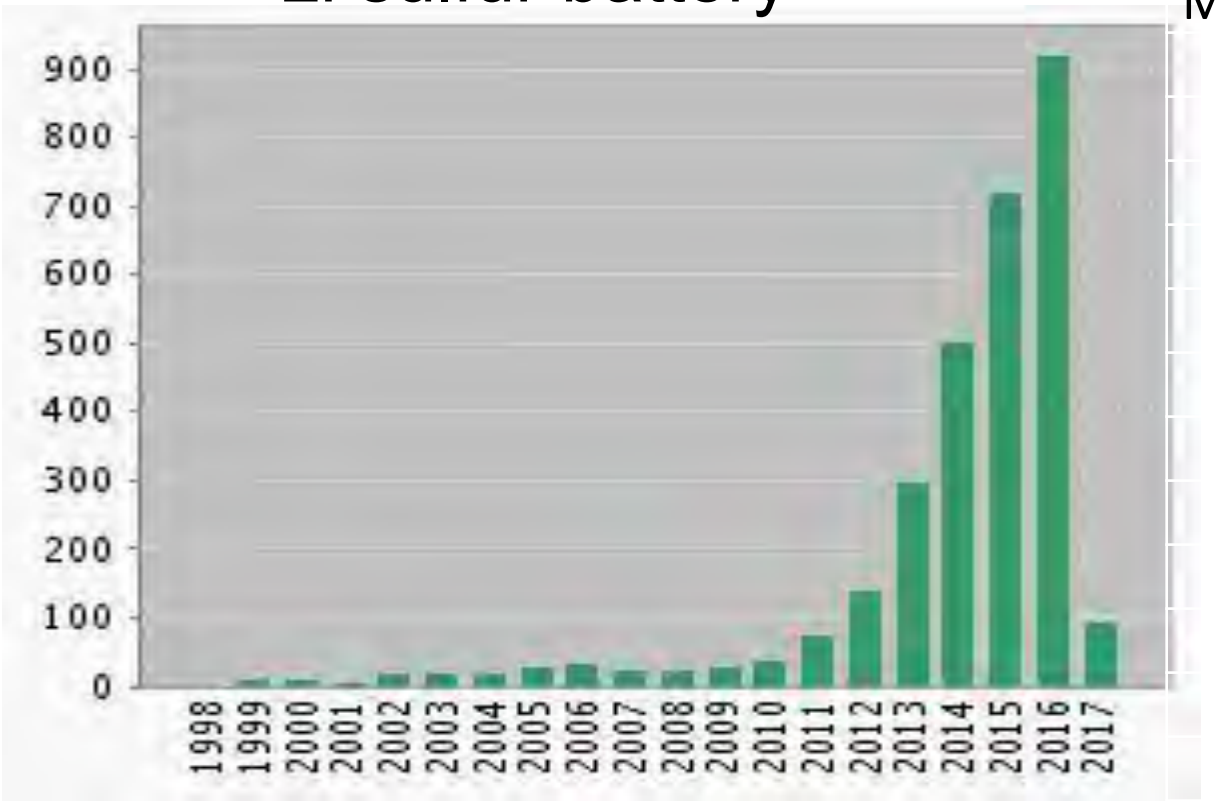
表 1. LiB 主要 4 部材　世界市場規模国別数量シェア推移

（単位：%）

	正極材			負極材			電解液			セパレーター		
	2013年	2014年	2015年	2013年	2014年	2015年	2013年	2014年	2015年	2013年	2014年	2015年
日本	25.1%	25.0%	18.8%	29.1%	26.5%	22.0%	22.9%	22.7%	19.0%	39.0%	35.7%	31.4%
中国	53.3%	55.0%	62.6%	68.6%	70.2%	75.2%	64.0%	66.5%	75.3%	31.4%	37.2%	44.8%
韓国	11.0%	9.3%	8.0%	1.0%	2.3%	1.9%	13.1%	10.7%	5.7%	15.7%	16.1%	16.2%
その他	10.5%	10.7%	10.5%	1.3%	1.1%	0.9%	-	-	-	13.9%	11.0%	7.6%
合計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

矢野経済研究所　リチウムイオン電池主要4部材世界市場2016：市場レポート(2016.10.20)

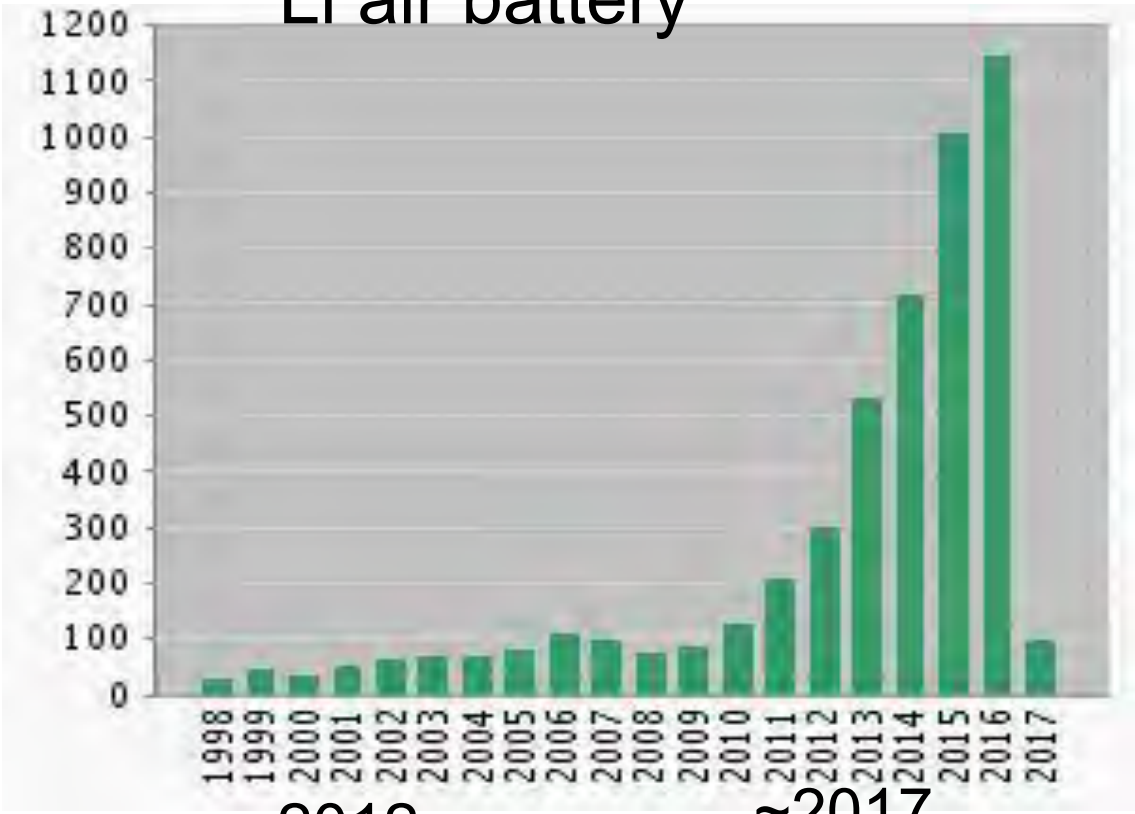
Li sulfur battery



CHINA	1538	49.74%
USA	726	23.48%
KOREA	333	10.77%
GERMANY	196	6.34%
JAPAN	158	5.11%
CANADA	117	3.78%
AUSTRALIA	116	3.75%
FRANCE	68	2.20%

MANTHIRAM A	73	2.36%
LI J	68	2.20%
ZHANG Q	60	1.94%
LIU J	56	1.81%
LAI YQ	55	1.78%
CUI Y	51	1.65%
YANG J	50	1.62%
ZHANG YG	50	1.62%
AHN HJ	49	1.59%
AHN JH	45	1.46%
HUANG JQ	45	1.46%
KIM KW	45	1.46%
ZHANG ZA	40	1.29%
LIU Y	38	1.23%
WEN ZY	38	1.23%
ZHAO Y	38	1.23%
JIN J	37	1.20%
WANG WK	37	1.20%
ZHANG H	37	1.20%
ZHANG J	37	1.20%
PENG HJ	35	1.13%
KASKEL S	34	1.10%

Li air battery



~2012

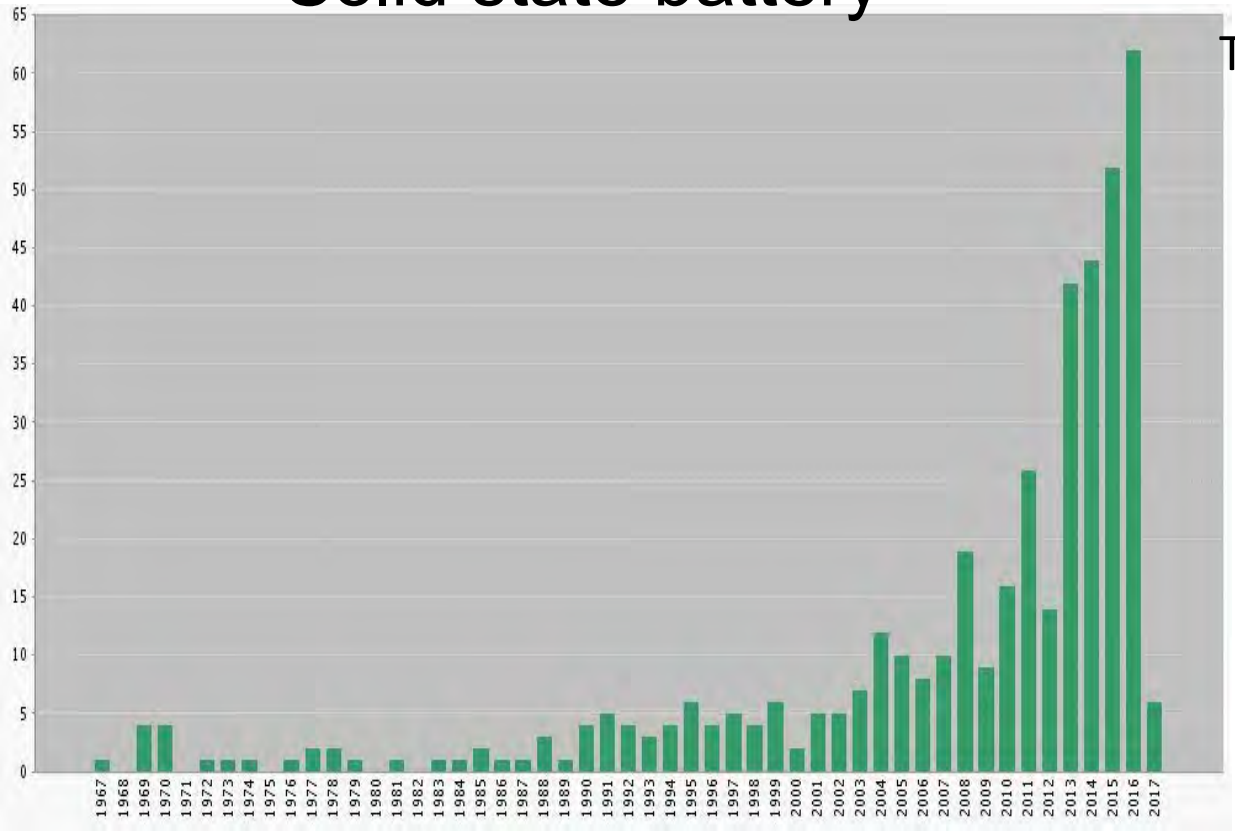
USA	442	28.19%
CHINA	297	18.94%
JAPAN	287	18.30%
FRANCE	143	9.12%
KOREA	143	9.12%
GERMANY	71	4.53%
CANADA	65	4.15%
SPAIN	49	3.13%

~2017

CHINA	1938	38.14%
USA	1190	23.42%
KOREA	566	11.14%
JAPAN	559	11.00%
GERMANY	315	6.20%
FRANCE	222	4.37%
CANADA	172	3.39%
AUSTRALIA	164	3.23%

AMINE K	66	1.30%
SUN YK	64	1.26%
ZHOU HS	64	1.26%
LI J	61	1.20%
LIU J	56	1.10%
MANTHIRAM A	52	1.02%
SHAO-HORN Y	52	1.02%
CHEN J	48	0.95%
IMANISHI N	47	0.93%
LIU Y	47	0.93%
WANG J	47	0.93%
LI L	43	0.85%
WANG Y	43	0.85%
YANG J	43	0.85%
ZHANG JG	43	0.85%
DAHN JR	41	0.81%
ZHANG L	40	0.79%
TAKEDA Y	39	0.77%
YANG Y	39	0.77%
BRUCE PG	38	0.75%
LU J	37	0.73%
LI Y	36	0.71%

Solid state battery



JAPAN	179	42.317 %
INDIA	63	14.894 %
USA	59	13.948 %
CHINA	34	8.038 %
SOUTH KOREA	31	7.329 %
GERMANY	21	4.965 %
FRANCE	16	3.783 %
ITALY	11	2.600 %

HAYASHI A	57	13.475 %
TATSUMISAGO M	57	13.475 %
KANNO R	20	4.728 %
TAKADA K	18	4.255 %
KANAMURA K	16	3.783 %
KOTOBUKI M	15	3.546 %
NAGAO M	15	3.546 %
SAKUDA A	14	3.310 %
AGRAWAL RC	13	3.073 %
HIRAYAMA M	13	3.073 %
LEE SH	13	3.073 %
TADANAGA K	13	3.073 %
KONDO S	12	2.837 %
MACHIDA N	9	2.128 %
MUNAKATA H	9	2.128 %
SATO Y	9	2.128 %
SUZUKI K	9	2.128 %
YAMAMOTO K	9	2.128 %
IRIYAMA Y	8	1.891 %
OHTOMO T	8	1.891 %
RAO VVRN	8	1.891 %
SINGH K	8	1.891 %