

先進型二次電池による次世代のエネルギー変革

未来の人工物を支える全樹脂電池 (LSiP)

**Creation of Large Scale-integrated Polymer (LSiP) battery technology,
which shall unleash any imaginable future artifacts**

2019. 1.23

@公益財団法人国際高等研究所
(京都府木津川市木津川台9-3)

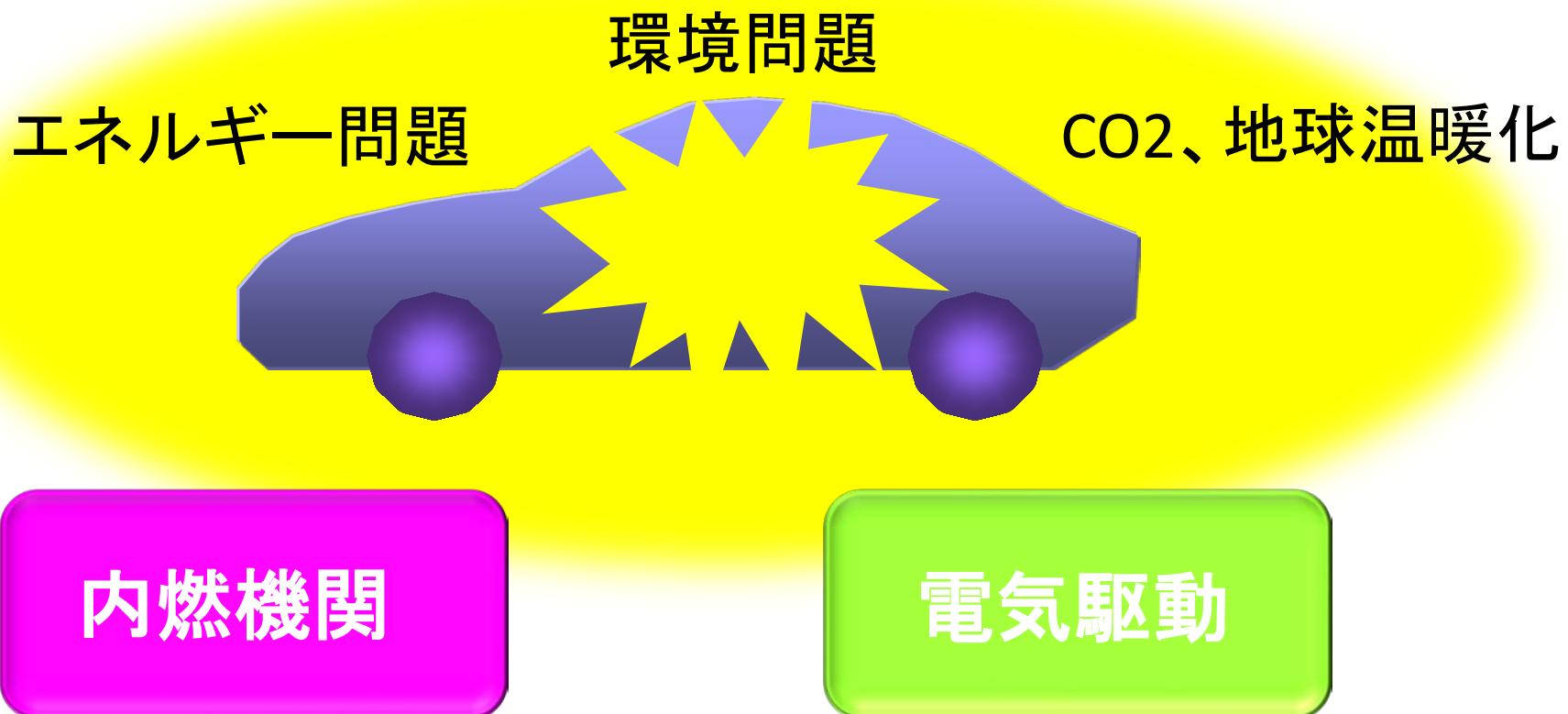
慶應義塾大学大学院
政策・メディア研究科

堀江英明

Hideaki HORIE
(denti203@sfc.keio.ac.jp)

産業革命を生み出した熱機関との霸権をめぐる争い(?)

20世紀から21世紀にかけて、自動車の内側で、パワーソースに関する、壮大な試みが起こっている…



走行に使われるエネルギーフロー

駆動系(動力変換)

蓄積
タイムシフト

燃料系(エネルギー源)

ガソリン自動車

軸出力

内燃式
エンジン

貯蔵タンク

石油
ガソリン
軽油 CNG

精製

石油

電気自動車

軸出力

モーター

イン
バータ

電気を利用することの利点とは？

1. 電気駆動のエネルギー効率の高さ
2. エネルギーを再利用することで効率を向上
3. 多様化されたエネルギーを利用可

二次電池

電気

発電

火力
原子力
水力

自然
エネルギー
太陽光
風力
地熱 etc.

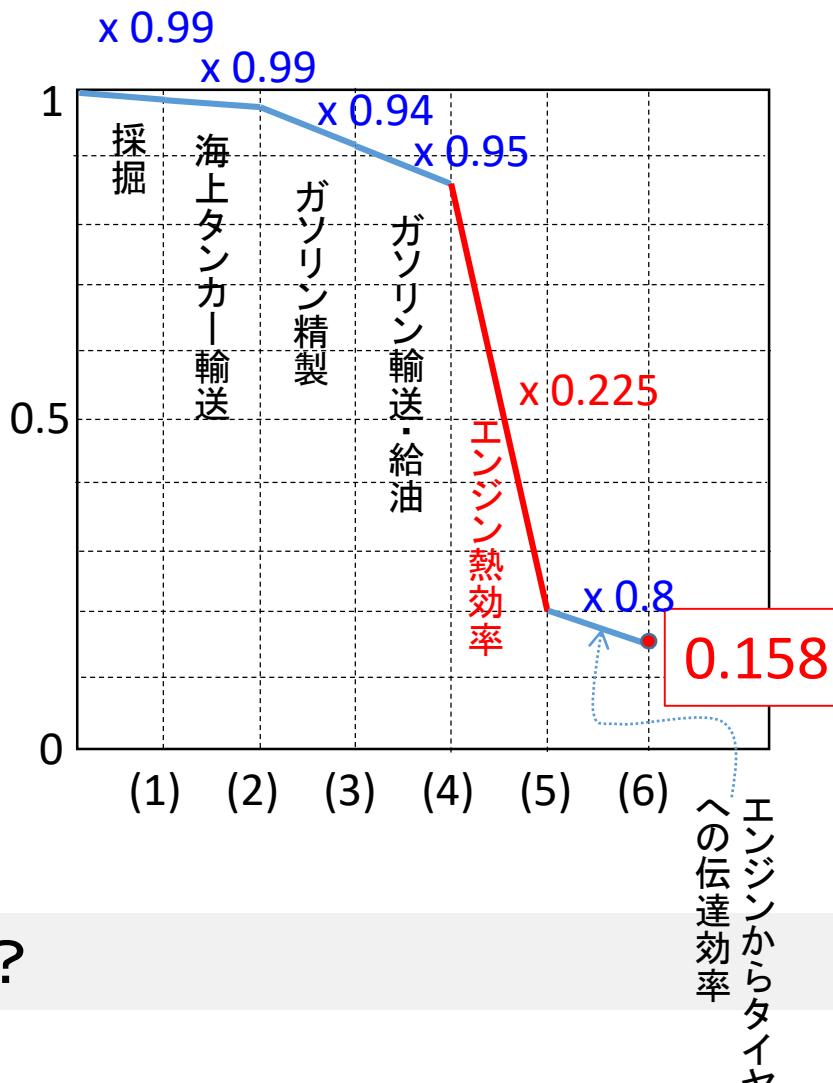
【例】ガソリン自動車のエネルギー効率の推定

【概算例】

- (1) 採掘 99%
- (2) 海上タンカー輸送 99%
- (3) ガソリン精製 94%
- (4) ガソリン輸送・給油 95%
- (5) エンジン熱効率 22.5%
- (6) エンジンからタイヤへの伝達効率 80%

$$0.99 \times 0.99 \times 0.94 \times 0.95 \times 0.225 \times 0.80 \\ = 0.158$$

エネルギー効率 15.8%



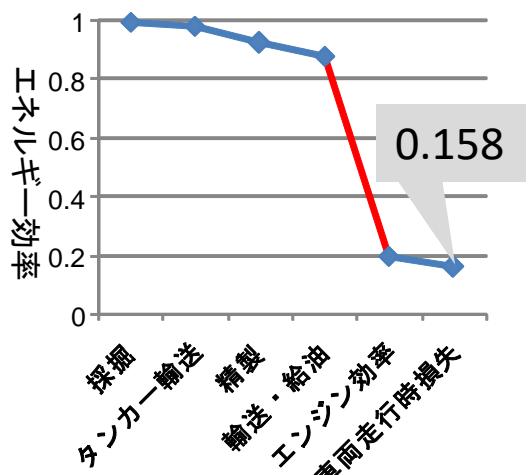
エネルギー効率を落とす原因は何か？

- ①エンジン部分でエネルギー効率が低下する。
- ②多くのシステムを介在させると、エネルギー効率は低下する。

自動車のエネルギー効率

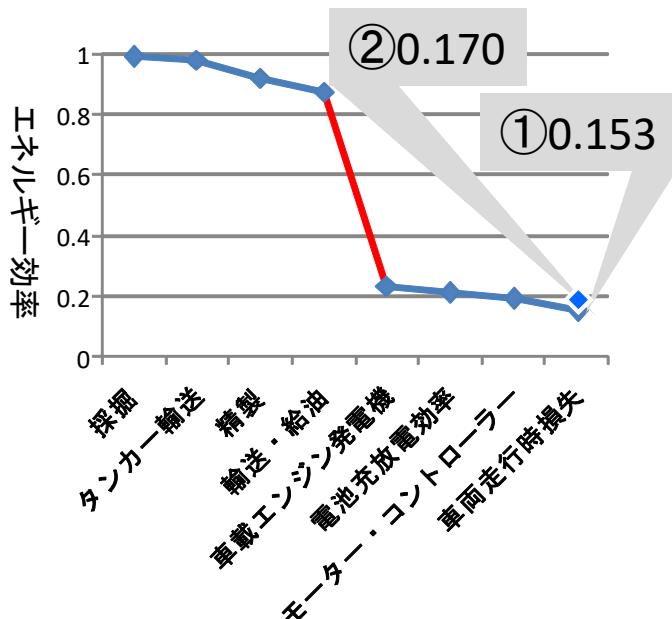
ガソリン自動車

	効率
採掘	0.99
タンカー輸送	0.99
精製	0.94
輸送・給油	0.95
エンジン効率	0.225
車両走行時損失	0.8



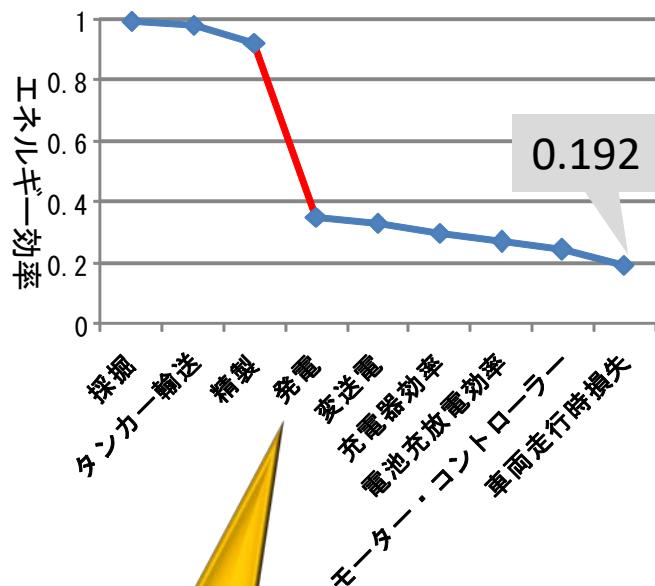
ハイブリッド電気自動車

	効率①	効率②
採掘	0.99	0.99
タンカー輸送	0.99	0.99
精製	0.94	0.94
輸送・給油	0.95	0.95
車載エンジン発電機	0.27	0.27
電池充放電効率	0.9	
モーター・コントローラー	0.9	0.9
車両走行時損失	0.8	0.8



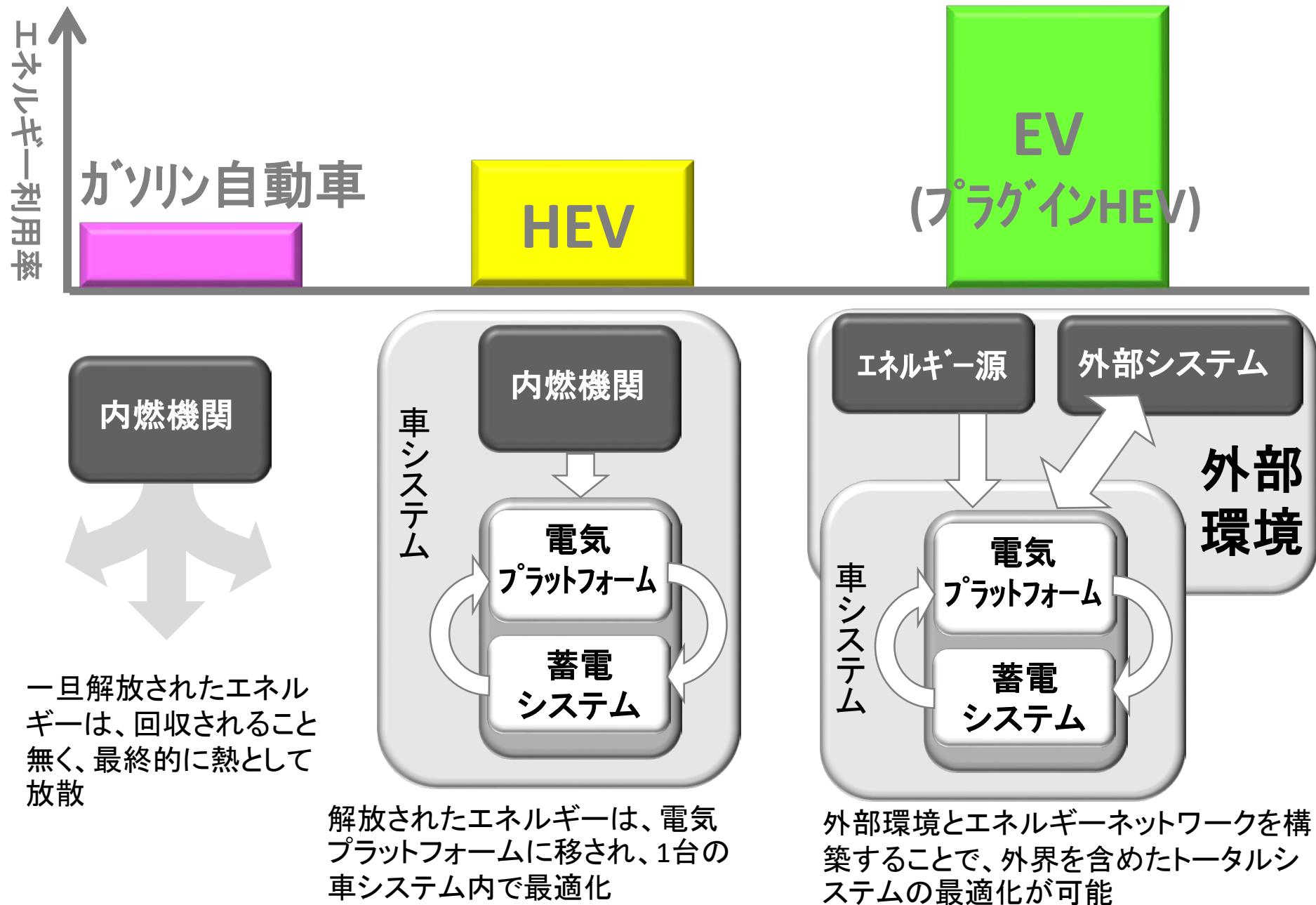
EVの電力を火力発電所から供給する場合 電気自動車

	効率
採掘	0.99
タンカー輸送	0.99
精製	0.94
発電	0.38
変送電	0.94
充電器効率	0.9
電池充放電効率	0.9
モーター・コントローラー	0.9
車両走行時損失	0.8

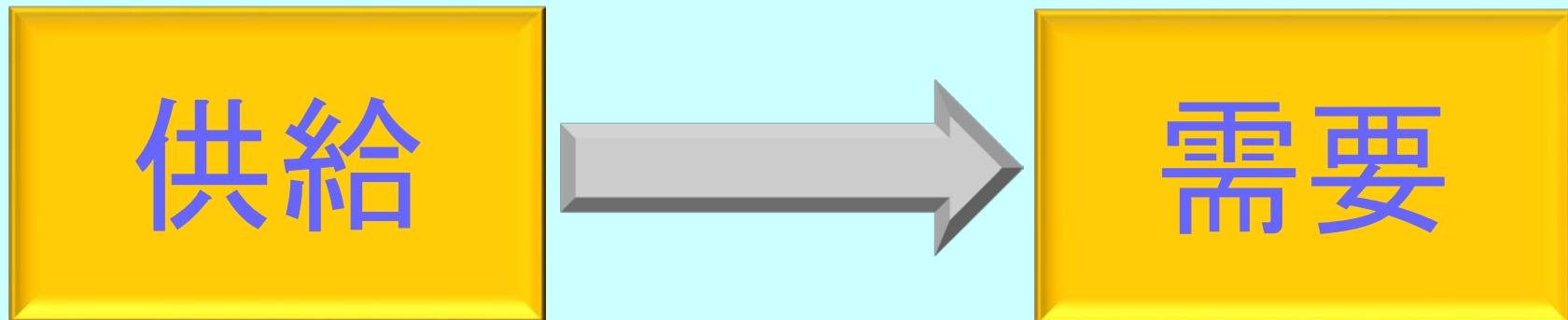


EVで電力を自然エネルギーから導入する場合には、熱機関による効率低下部分は無くなる！

【仮説】EVの普及とはエネルギーのネットワーク化の実現



需要と供給の差

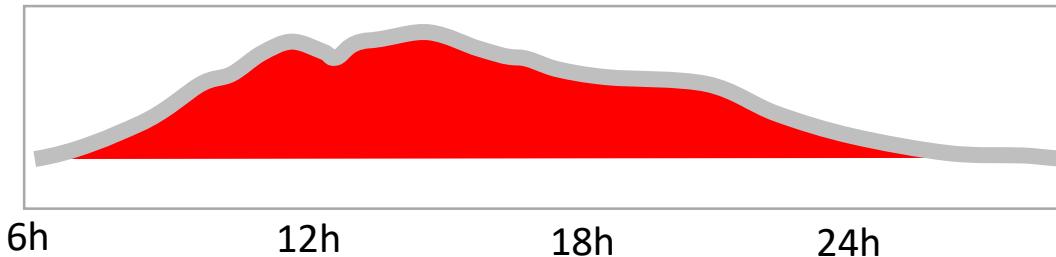


需要と供給の間には、一般的に
差がある……

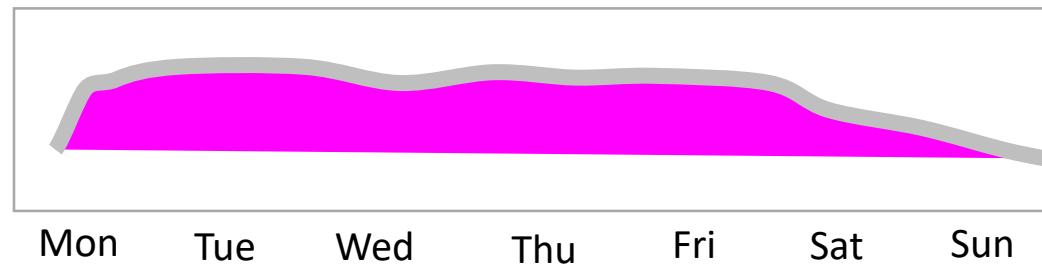
需要

【変動要素】 社会と自然環境の固有の周期的変動を基本としつつ、更に別の要因が重ね合わされる

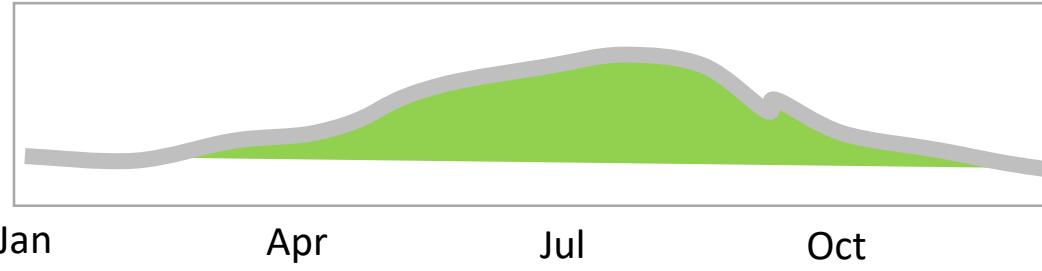
day



week

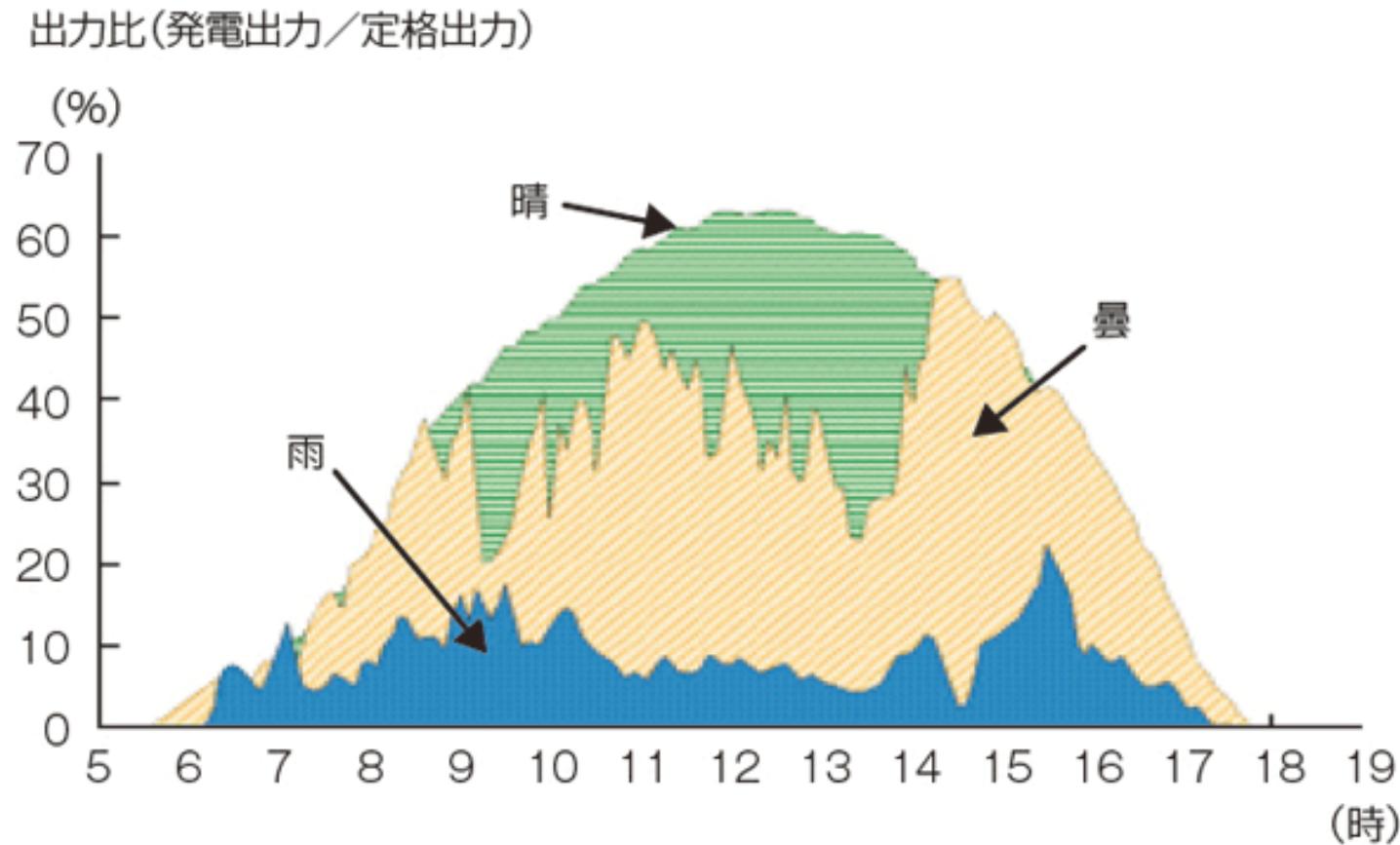


year

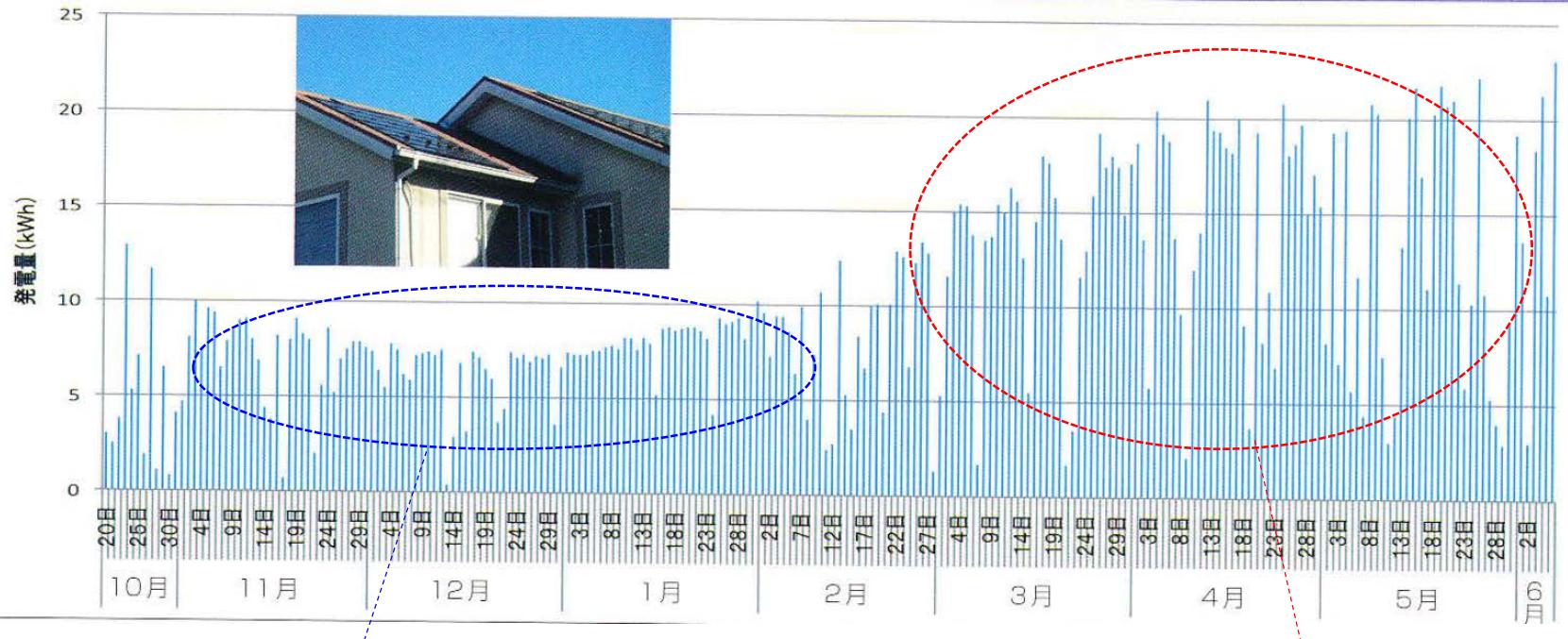


太陽光発電の天候別発電電力量推移

太陽光発電には天候や日照条件等により出力が不安定であるという課題も残されており、今後、導入がさらに拡大していくけば、蓄電池との組合せ等による出力安定化が求められるようになることも考えられます。(エネルギー白書2013より転載)



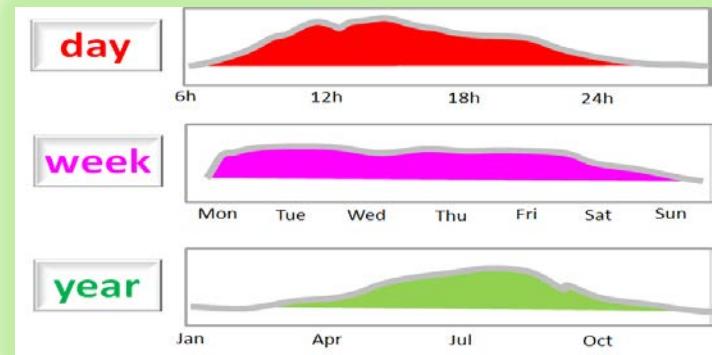
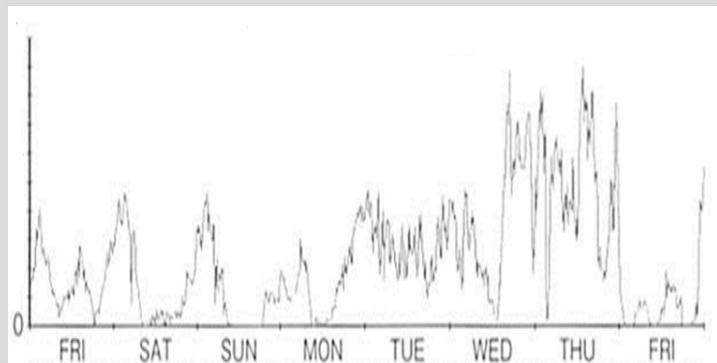
太陽光発電の季節変動



冬は、(このcaseでは)
快晴の日が多いが、
太陽が低く(太陽電池への太陽光線入射角が浅い)、
日照時間が短い

夏は、
太陽が高く、日照時間が長いが
曇りや雨の日が多いため、
日による変動は大きい

自然エネルギーを取り入れるには、需要変動のみならず、供給変動もコントロールする必要あり

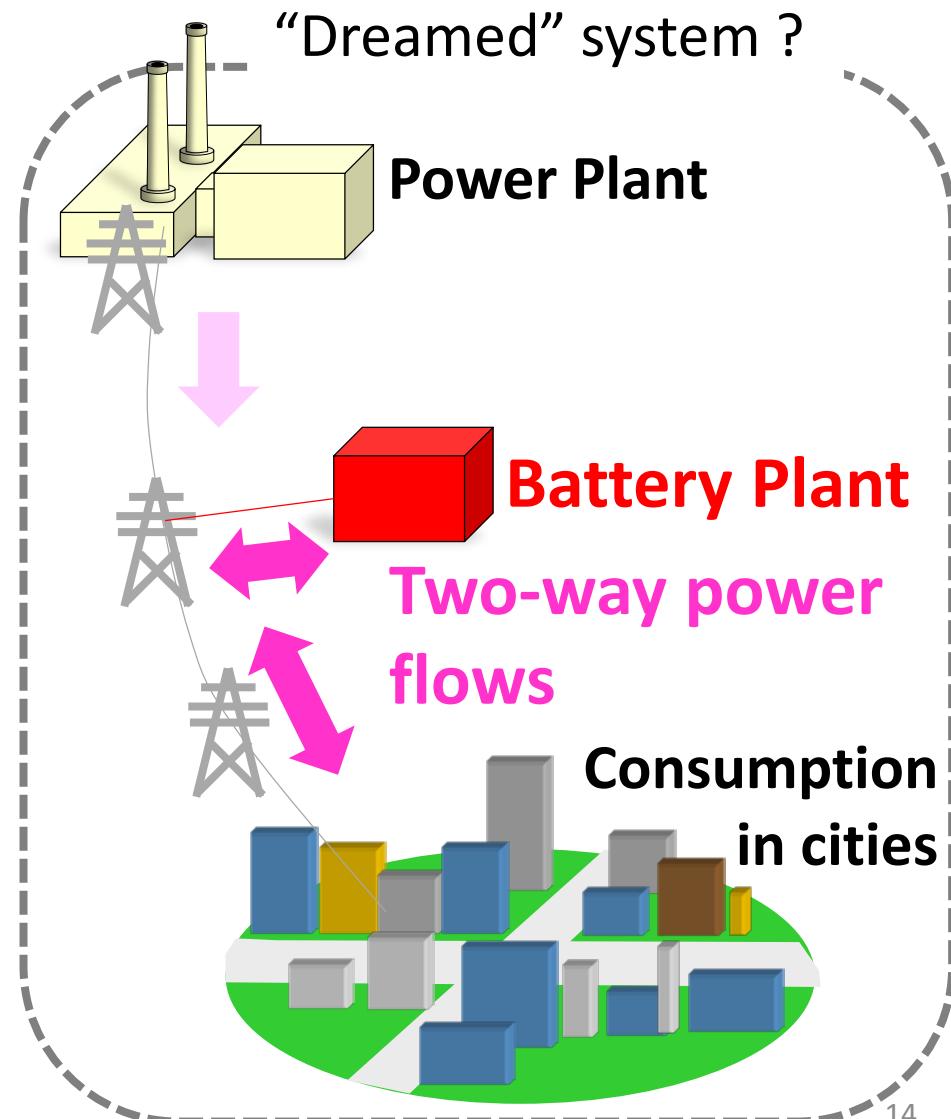
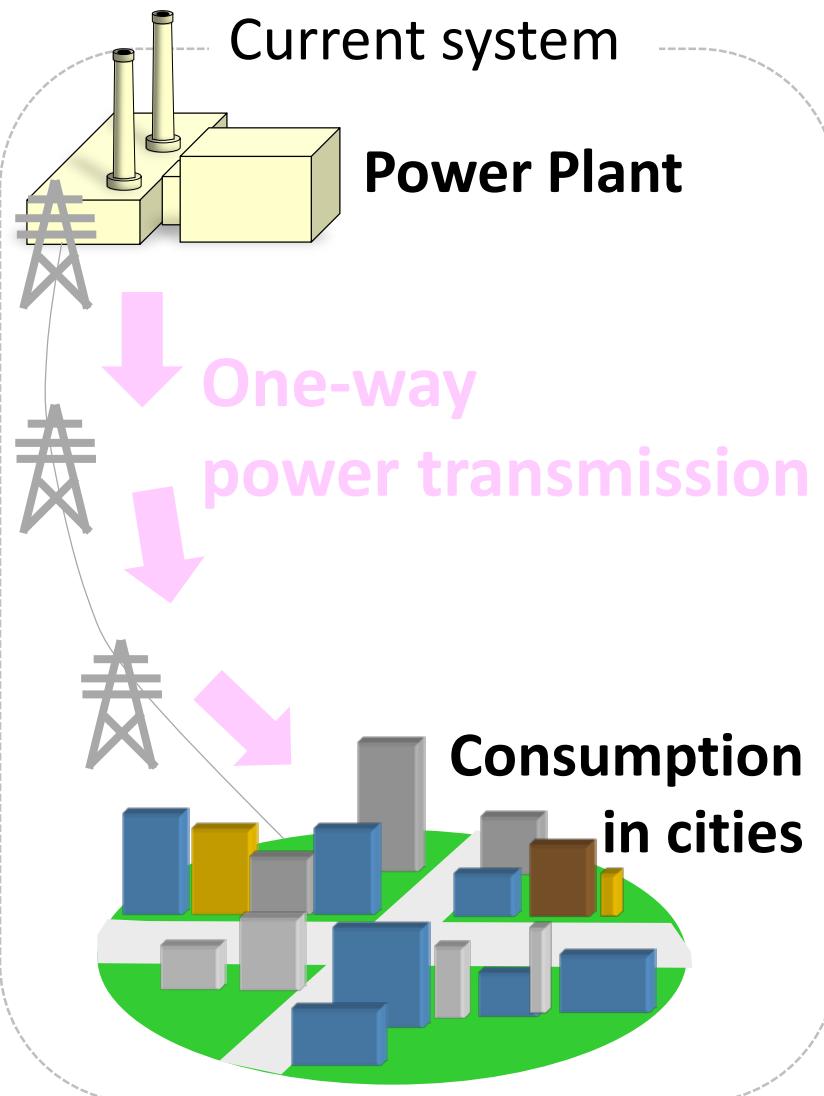


電気の最大の技術的課題

電気が貯められなかつたこと

Could it be one form of materialization of the dreams
which Edison might have conceived a hundred years ago ?

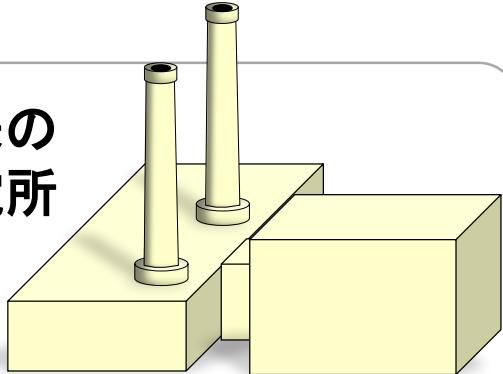
He failed because there were no battery candidates then, however, one hundred years later,
we are facing to the new area.....



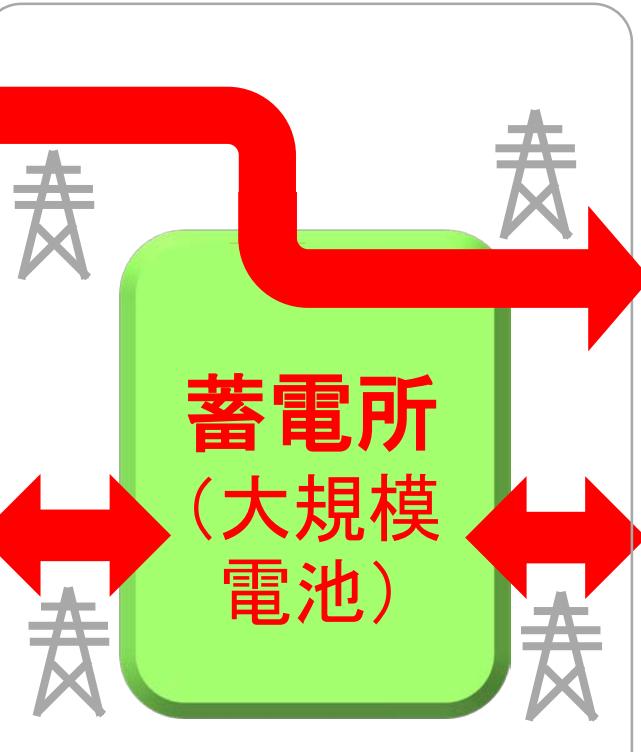
大規模定置用二次電池の役割

電力供給

従来の
発電所

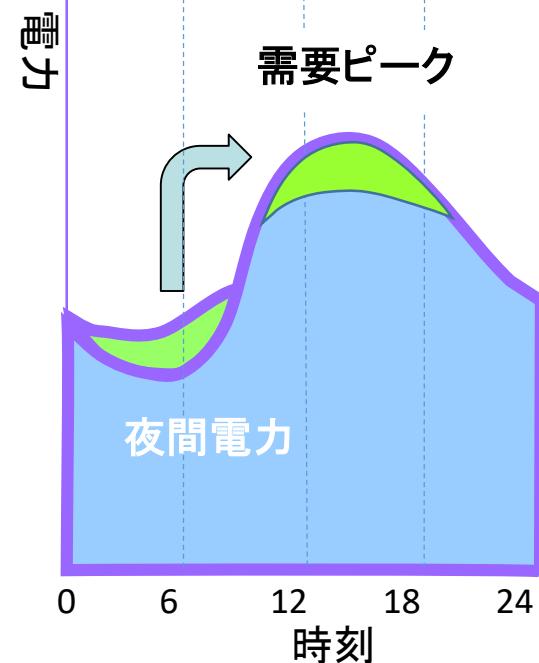


送・配電

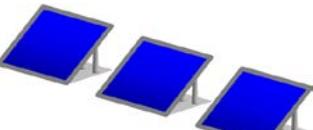


電力需要

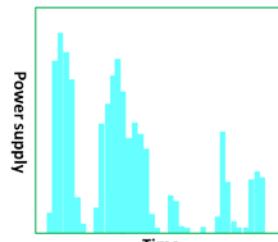
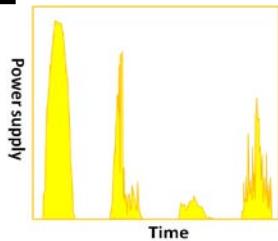
蓄電機能による
需要ピークの緩和



自然エネルギー



太陽電池

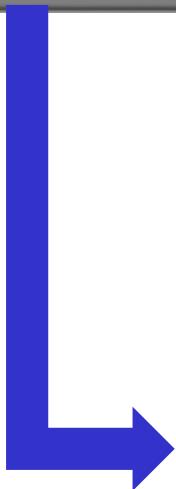


風力発電

大型蓄電所の考え方

『大型蓄電所を設置』

代替
機能を
有す



『発電所を作る』ことと部分的に等価

- 既存の発電所の利用効率を向上
(最も燃費の良い発電所と等価)

『送電・変電設備を作る』ことと部分的に等価

- 既存の送配電設備・変電所の利用効率を向上

図：蓄電機能を持つことは、①発電所②送電・変電設備 を増強することと等価

大型蓄電所の考え方

『大型蓄電所を設置』



電圧変動を吸収し最適化

(1) 電圧低下を補償

- 電力需要ピーク時の電力供給(数時間)
- 電力網ブレークダウン(大規模停電)を抑制するための短時間電力供給

(2) 電圧上昇を補償

- 自然エネルギー発電による余剰電力

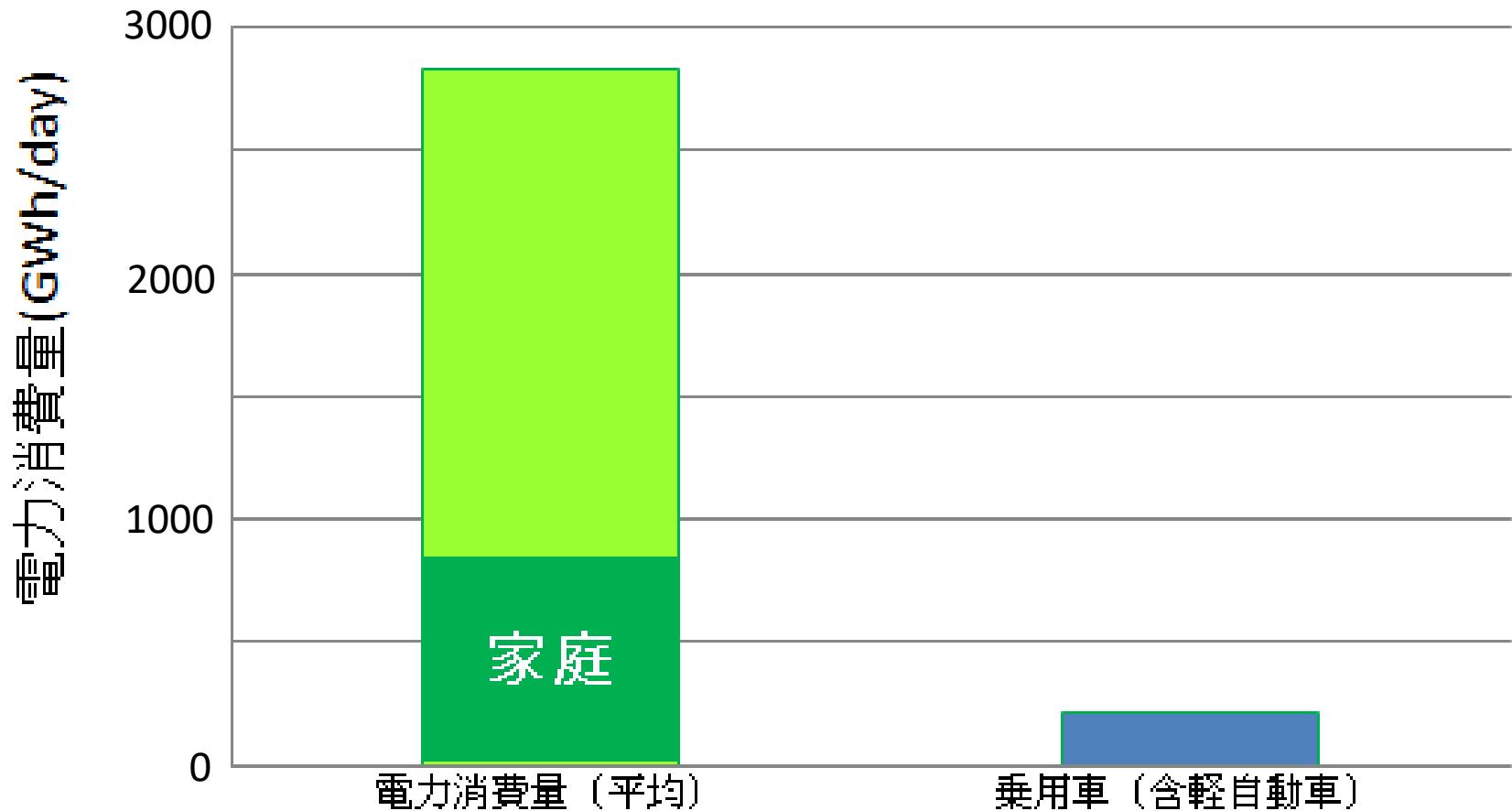
図：蓄電機能を持つことは、電圧変動を最適化

2010年度の1日当たりの電力消費量(平均値)

部門	電力量 (GWh)	比率 (%)
産業(製造業)	1140	40.1
産業(非製造業)	19	0.7
業務	783	27.7
運輸	58	2.0
家庭	835	29.5
最終エネルギー消費合計	2830	100.0

電力需要の比較例

電力消費量（平均）	2830	GWh
乗用車（含軽自動車）	210	GWh



火力発電所

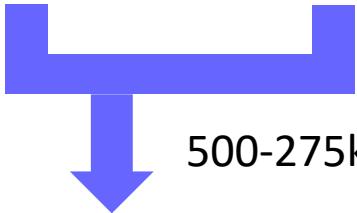


水力発電所



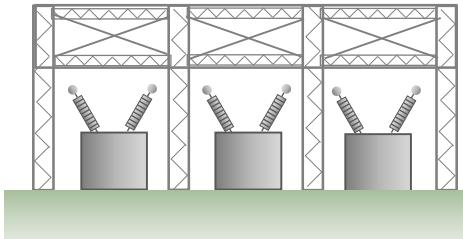
大規模発電所

谷腰欣司 つくり方からしくみまでプロ
が教える電気のすべてがわかる本ナ
ツメ社 p11 - 12



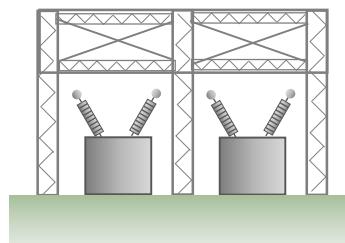
500-275kV

超高压変電所



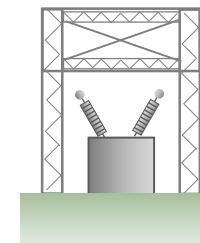
154kV

1次変電所



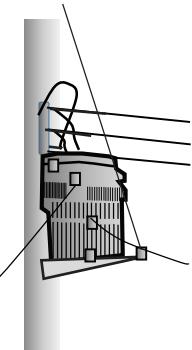
66kV

配電用変電所



6.6kV

柱上トランス



200V
100V

154-66kV

大規模工場

鉄道

6.6kV

中規模工場

ショッピングモール
デパートメントストア

オフィスビル

共同住宅

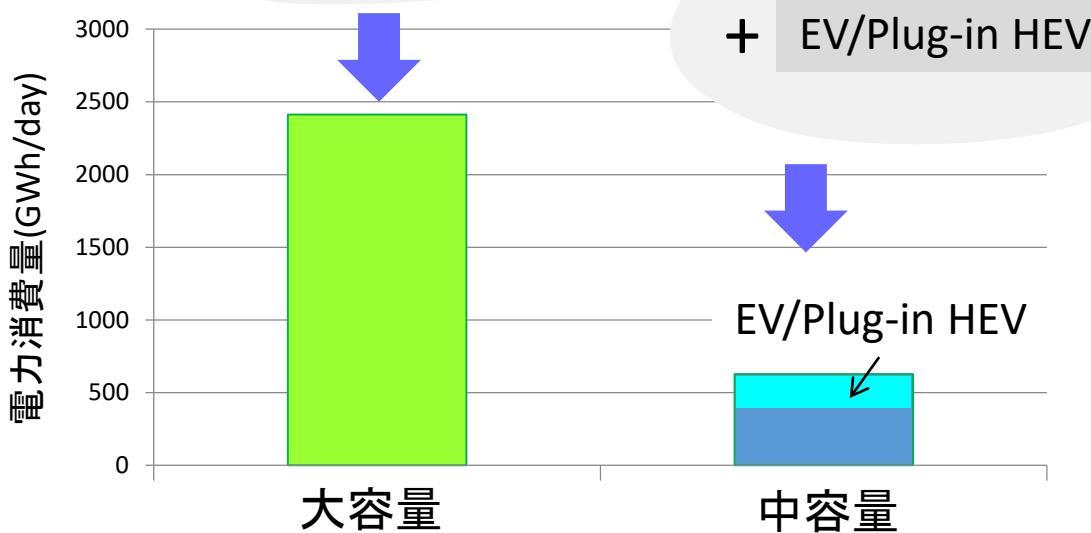
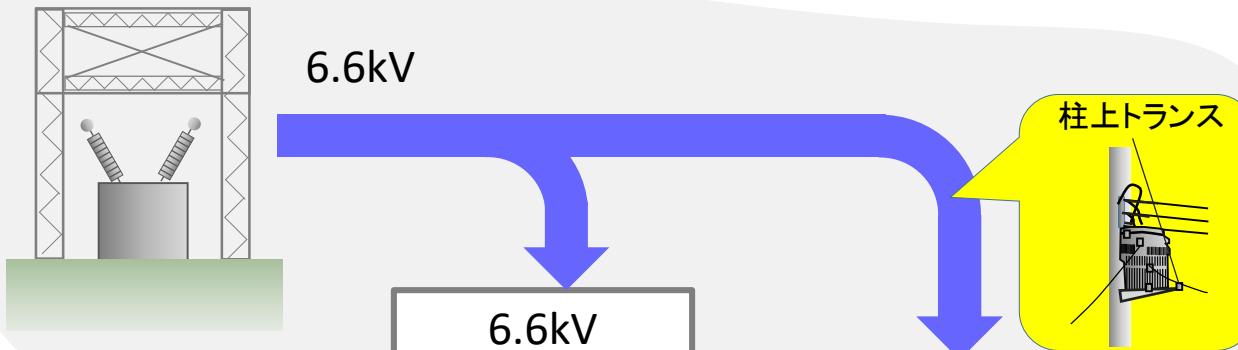
図：現在の電力系統

変電設備(電力会社10社合計)

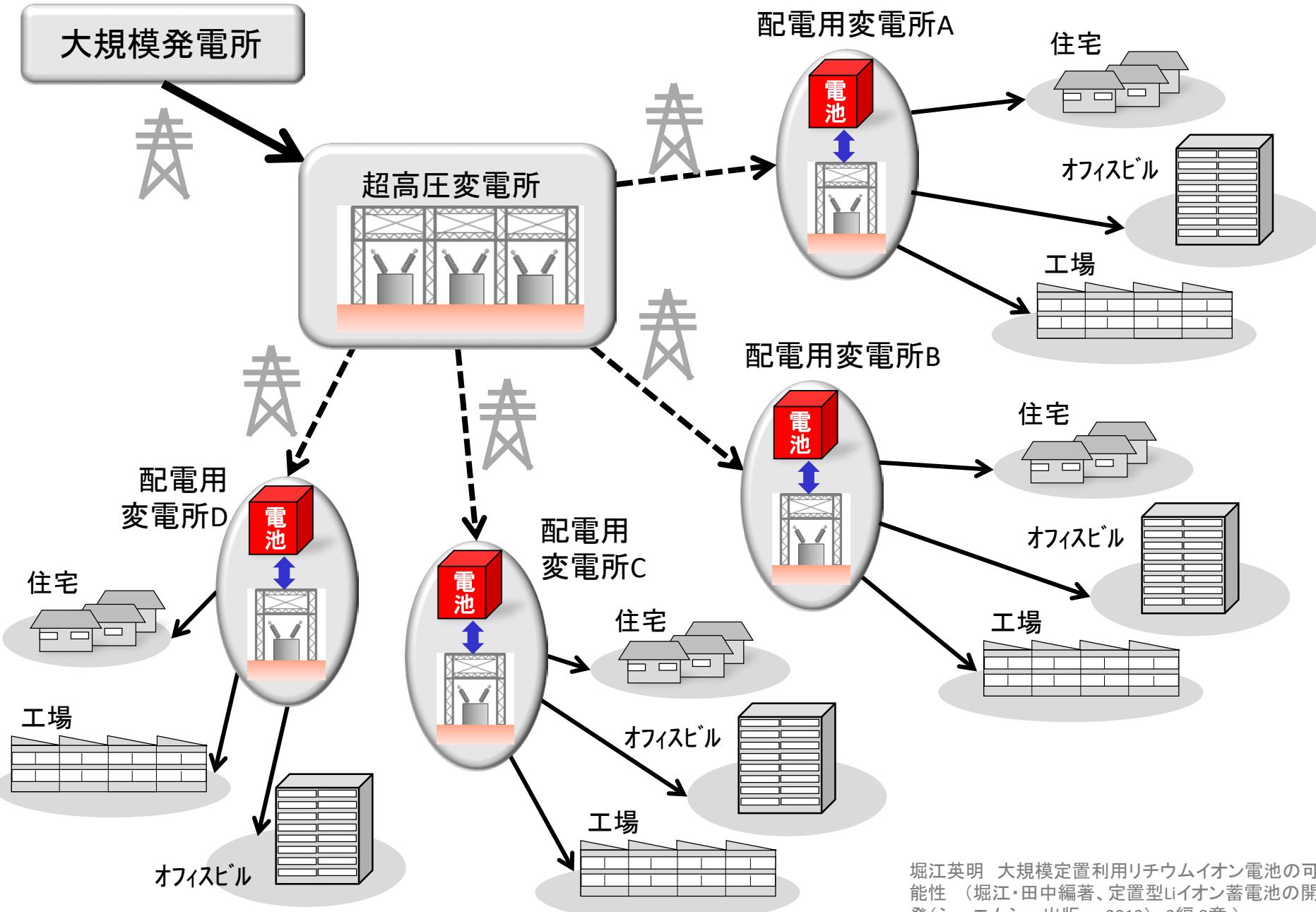
高圧側 電源別 (kV)	(I) 500以上	(II) ・220 ・187 ・154以下 110以上	(III) 77以下 66以上
変電所出力合計 (Mega-kVA)	215.16	202.68	216.48
変電所箇所数	80	766	4413
1箇所当たりの平均 変電所出力 (Mega-kVA)	2.69	0.26	0.049

電力需要のスケール(検討例)

配電用変電所



電力系統への二次電池の埋蔵

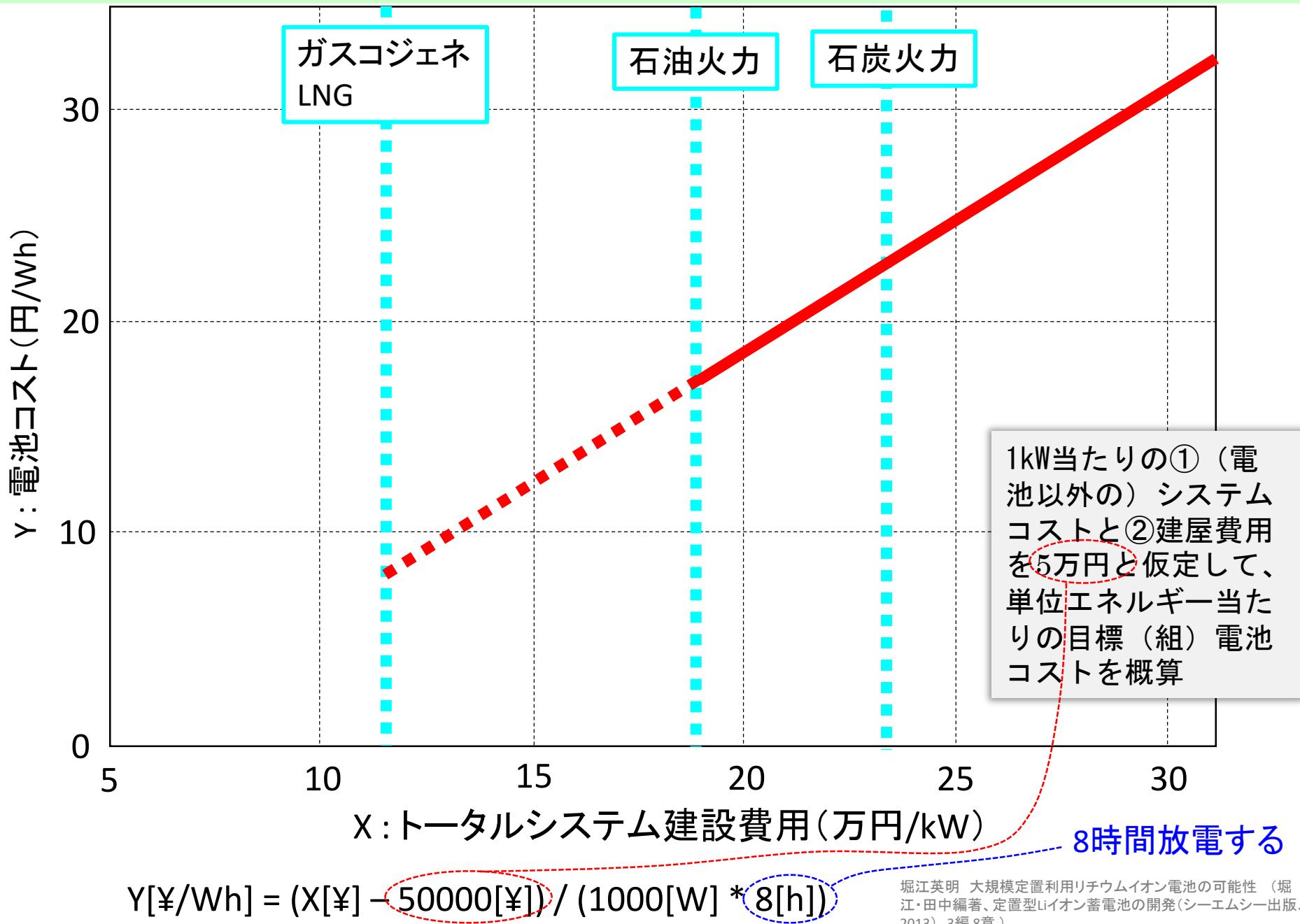


【参考(例)】発電所建設費用（1kW当たり）

一般水力	85万円
石炭火力	23万円
石油火力	19万円
LNG	12万円
ガスコジェネ	12万円
石油コジェネ	13万円

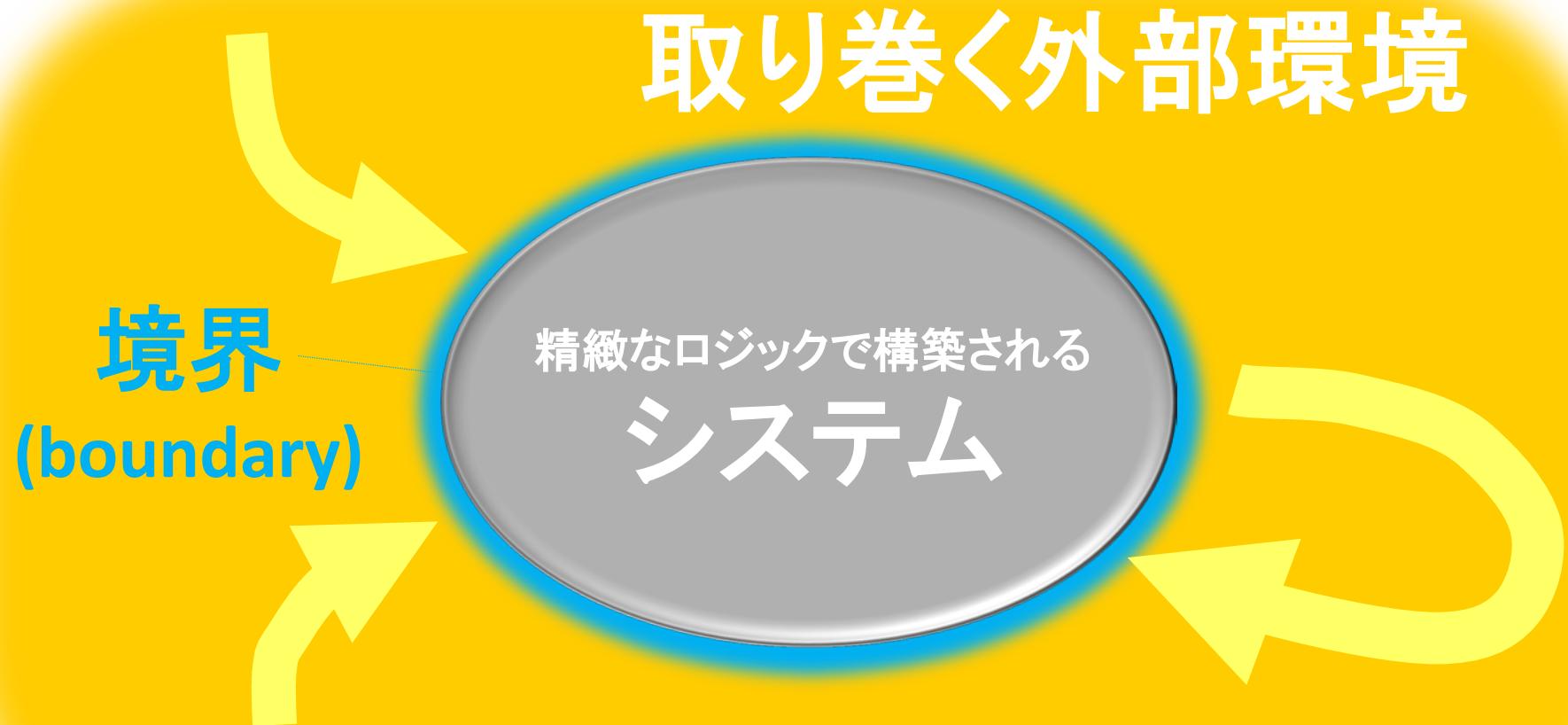
http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20111221/hokoku_sankou2.pdf
<http://www.npu.go.jp/policy/policy09/pdf/20111108/siryo1-1.pdf>

蓄電所建設費用と電池コストの関係



『システム』を創造するとは・・・

(仮説に従い)ある範囲に限定し(⇒限定しなければ、デザインできないので・・・)、その限定された範囲の内側で、精緻なロジックを構築し、デザインする。



しかしながら、環境の変化が激しいならば、システムデザイン・成立点は、大きく変化する可能性がある。

情報とエネルギーの融合

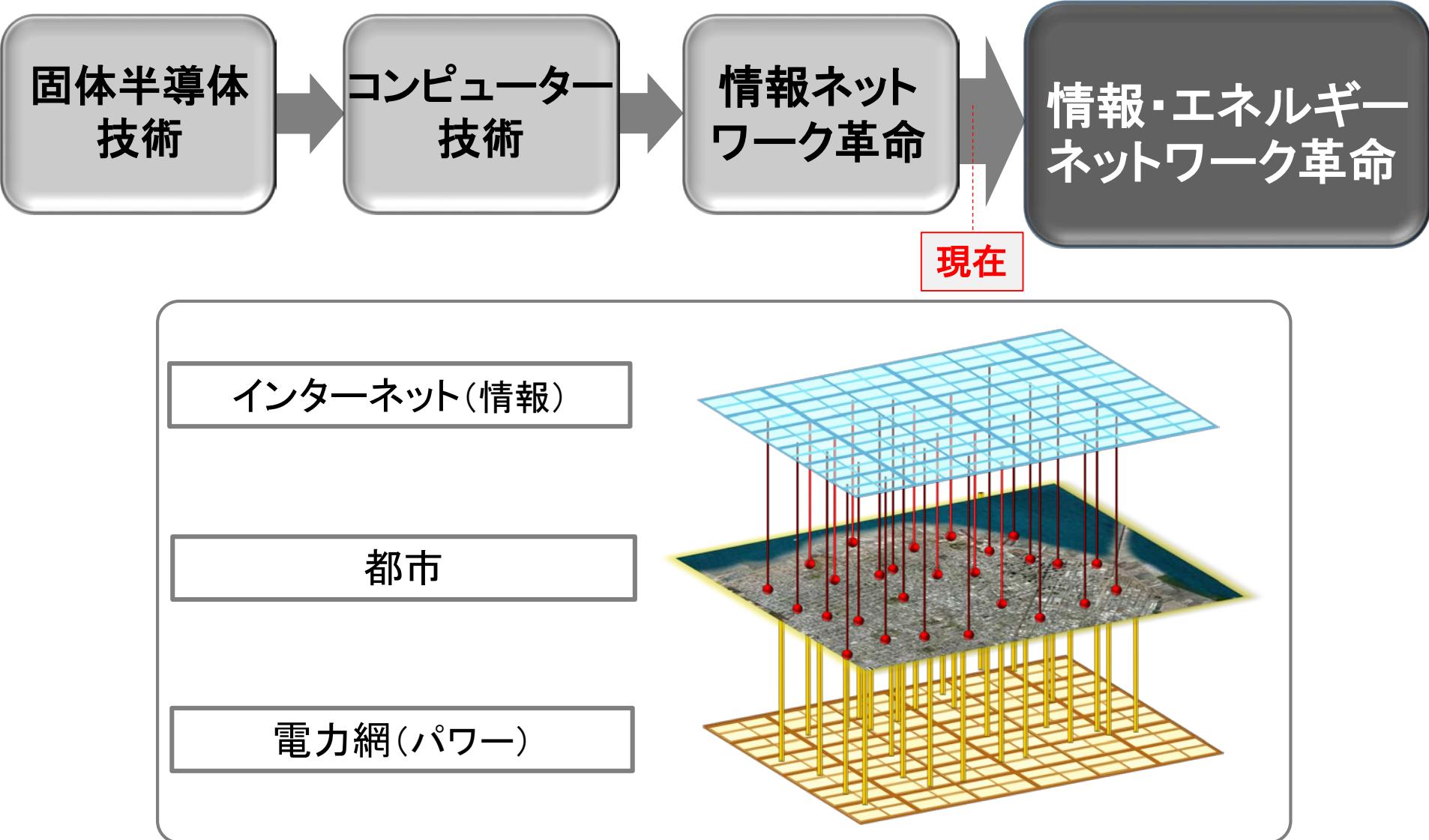
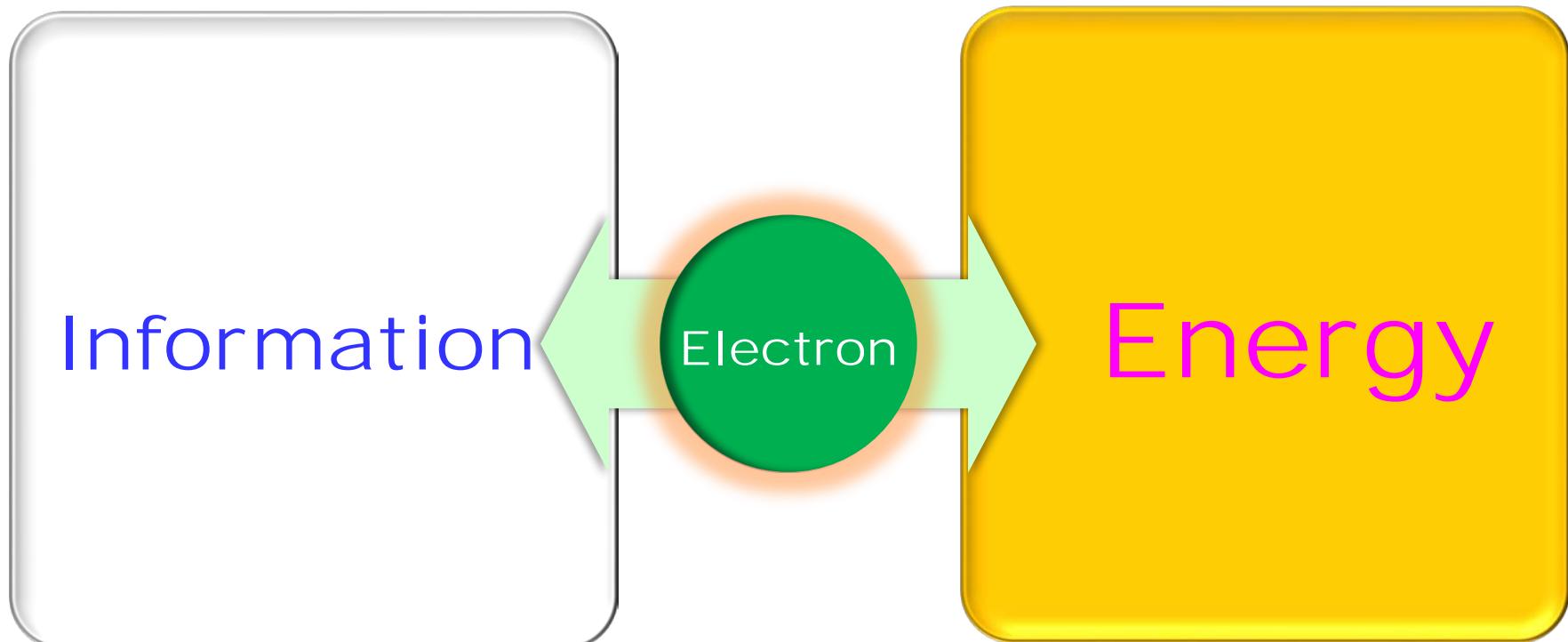


図 情報・エネルギー・ネットワーク革命の到来

【これから起こること】

電子を介して、全く異質の概念（カテゴリー）である
『情報』と『エネルギー』

が、限りなく一体化する、人類史上初めての社会が
出現する



情報とエネルギーの融合の鍵は、次代の社会が受容可能な高性能二次電池概念の確立と実現

Information

Energy

奇しくも『電子』を介して統合化

制御のためには内部自由度が必須で、“Buffer” が必要

社会が受容可能な
高性能二次電池

【仮説】現在、世界中で、スマホ等に代表される高性能情報端末を通し、得た情報に基づき活発に人々は活動している。しかしながら、次第に、（人が介在する中間プロセスは排除され）、情報がリアルワールドのエネルギーを直接制御する社会が到来すると考えられる。

これからの社会での新しい変化点

最後のmissing pieceが解決
電気が貯められる

情報ネットワーク技術の爆発的発展

21世紀以降のエネルギーは”情報化”される

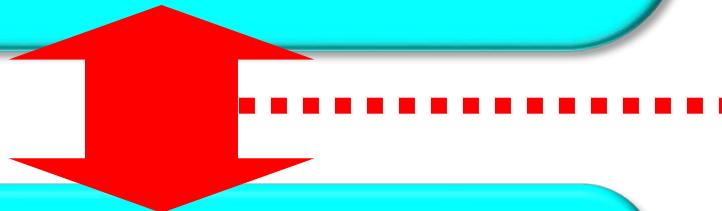
Supply

電池はどれだけの電気エネルギーを供給できるか。

どれだけのエネルギーが電池内部にあるか？
(電池状態 : State of Charge)

どれだけのエネルギー(電気量、瞬間出力)を
どれだけの時間、供給できるか？

電池の信頼性



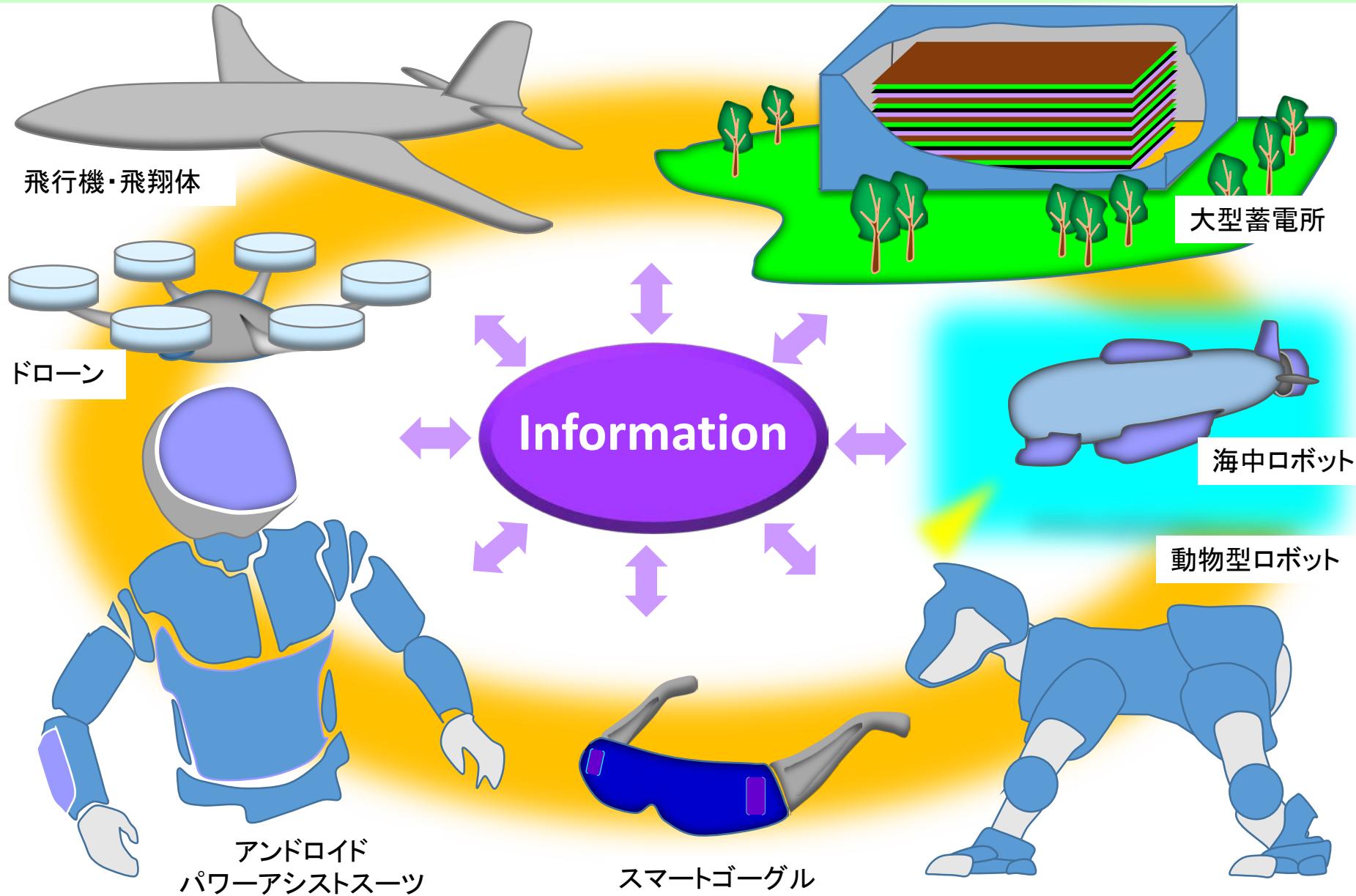
Demand

外部環境はどれだけのエネルギーを必要とするか(予測)。

Information and Network

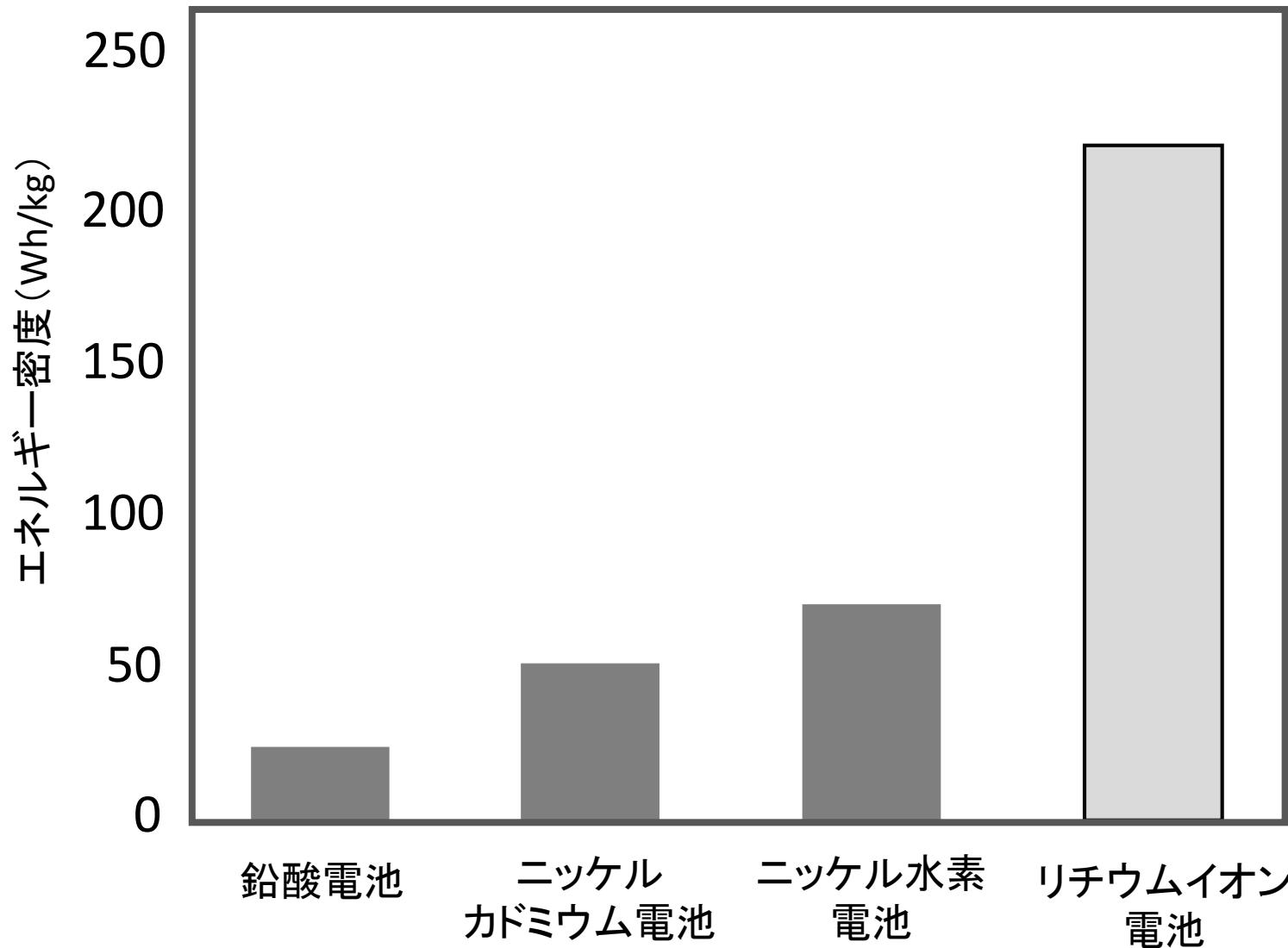
電池状態を考え、電池のエネルギー供給能力と電力要求を最適コントロール

【問】 未来の様々なに生み出されるであろう人工物を支える
次代の高性能二次電池の姿(必要要件)とは?

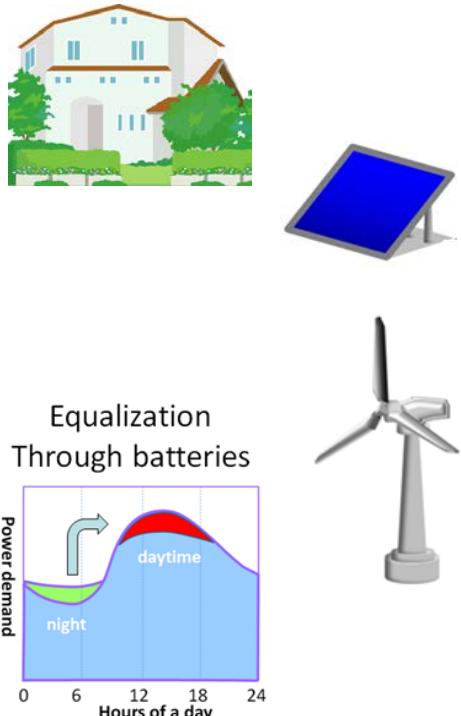


リチウムイオン電池

高い性能を誇る



高性能二次電池のカテゴリーとは？

第1の用途 電気製品	第2の用途 自動車	第3の用途 都市
モバイル情報機器 (2~3Ah)	EV / HEV (10~100Ah)	定置用電池 (?Ah)
1991年~	2009年~	20??年~
		

リチウムイオン電池

過去25年、急激に発展した情報化を根底から支えたが、次代の情報・エネルギー・ネットワーク時代をどのように切り拓いてゆくか？

Emergency of Information-Energy Network

Emergency of Information Network

Lithium-Ion

Nickel-Metal Hydride

Nickel-Cadmium

Lead-Acid

○

(Plante, 1859)

(Jungner, 1899)

1850

1900

1950

1990 2000

Specific Energy (Wh/kg)

250

200

150

100

50

0

図 各種電池の性能向上(エネルギー密度)

現行システムの潜在的課題

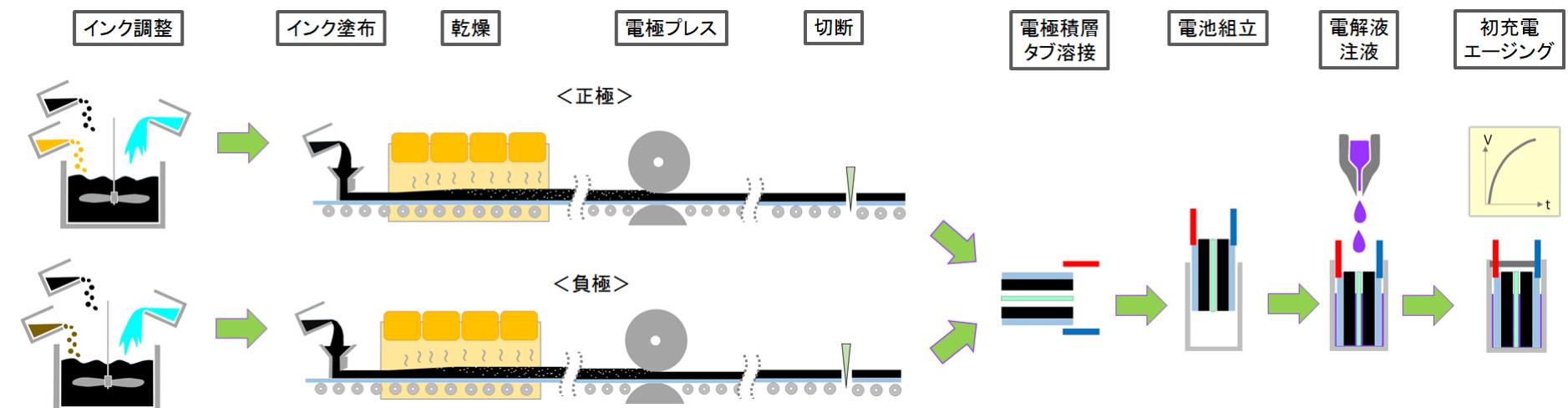
生産性

セル/モジュール構造性

異常時信頼性

現在の生産工程 (0)

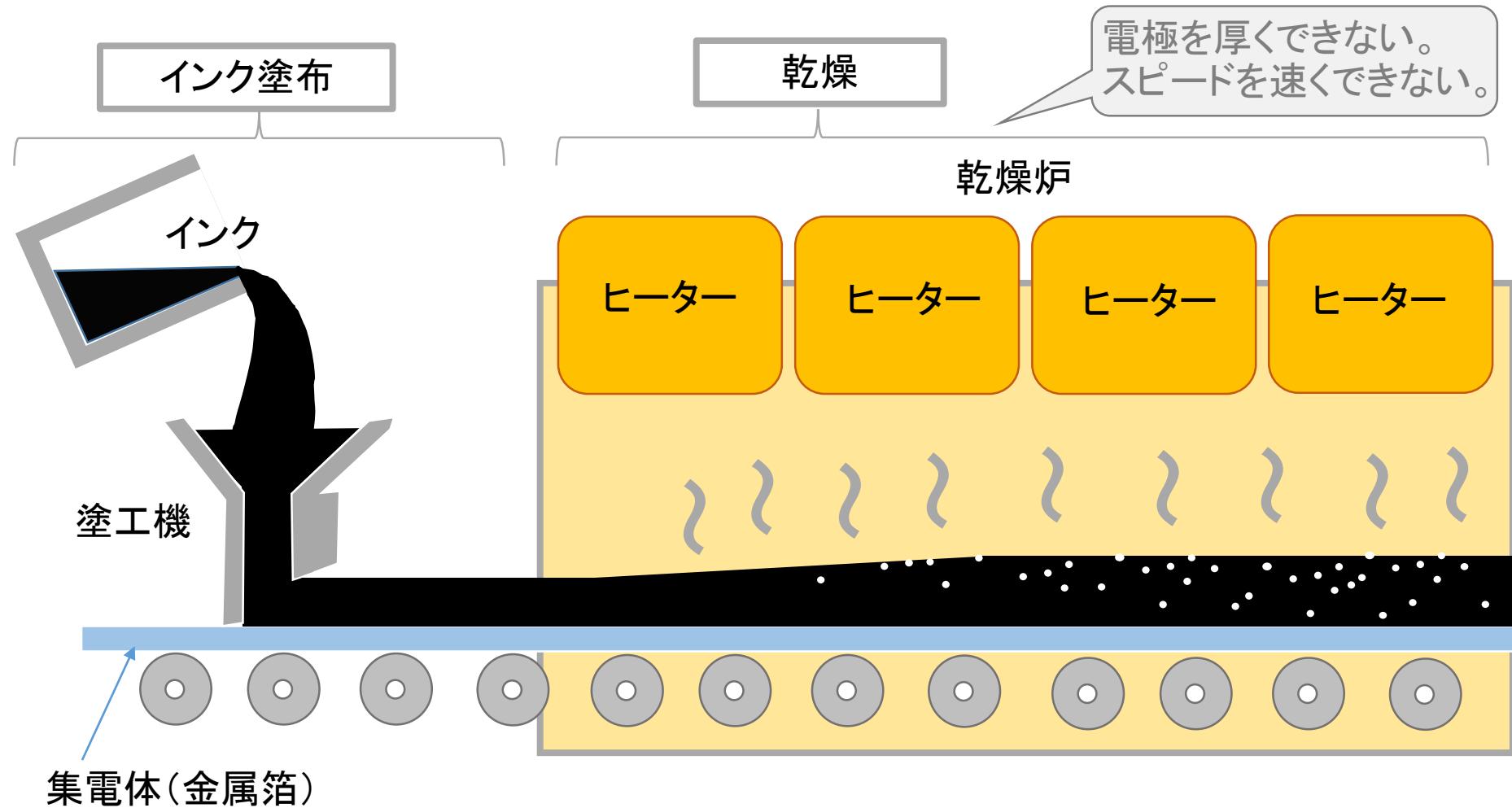
様々な工程から構成されている



現在の生産工程 (1)

【問】現行のコーテー/乾燥工程は、生産性(速度)に制限を与えてる?

乾燥工程が、電極層膜厚や塗工・乾燥速度に上限を与える



現在の生産工程 (2)

【問】複雑な機械的工程(金属切断)が、生産性(歩留まり)に、制限を与えている？

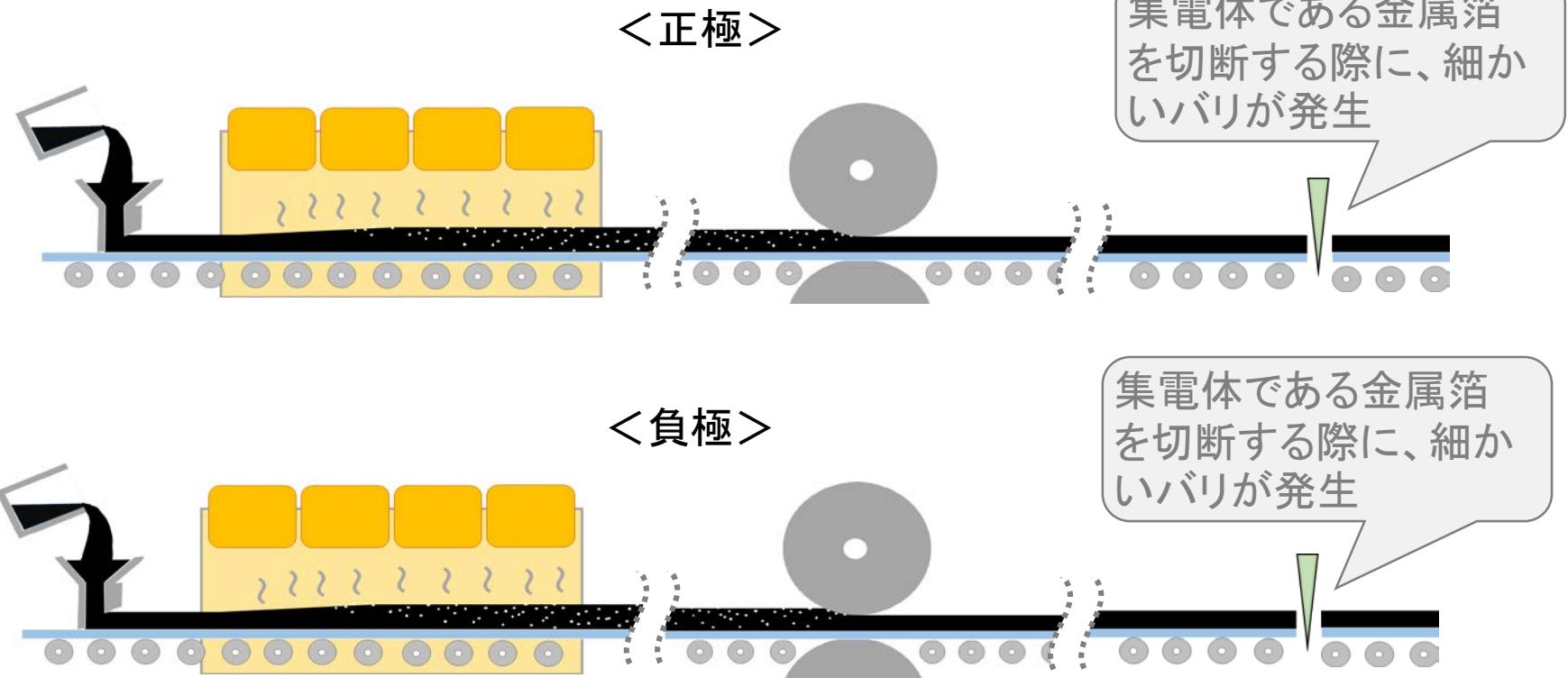
切断、プレス等の機械的プロセスによる微粉・バリの発生

インク塗布

乾燥

電極プレス

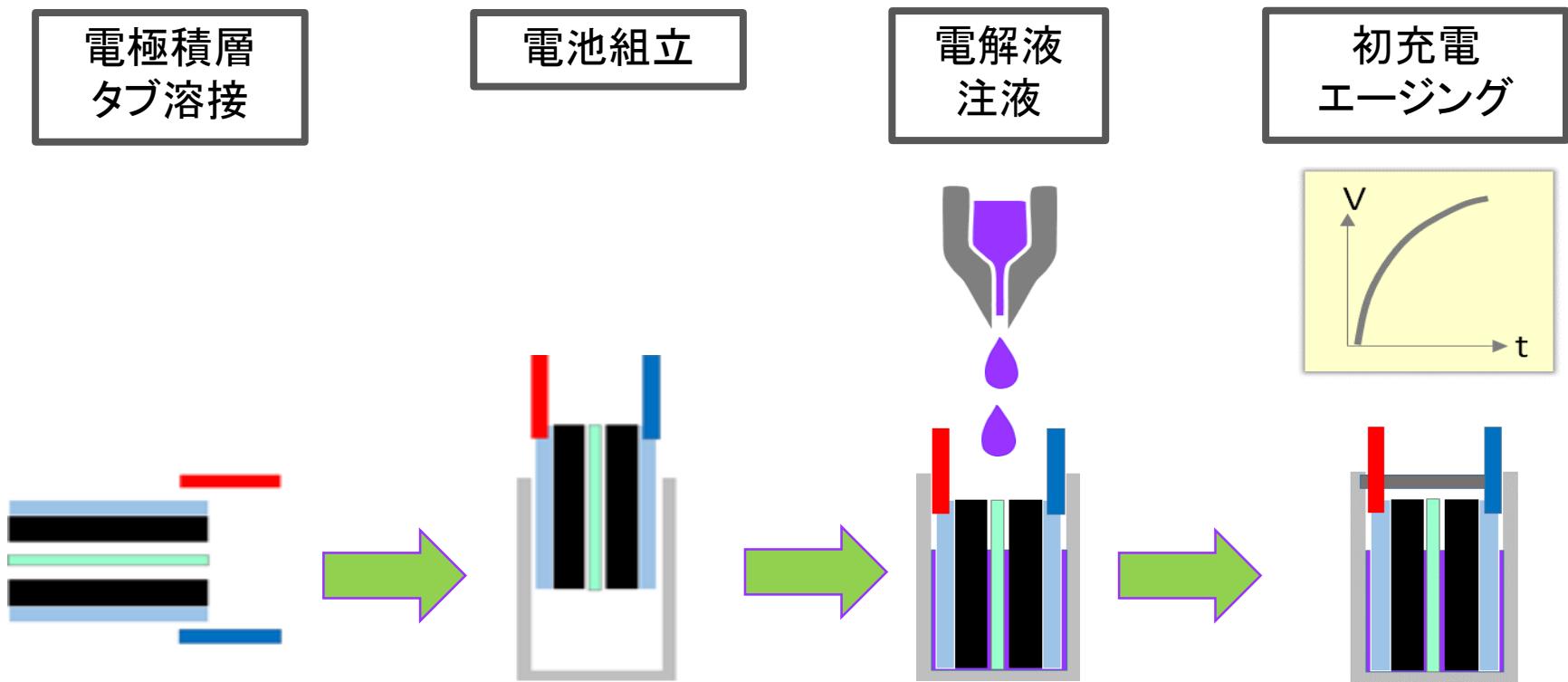
切断



現在の生産工程 (3)

【問】複雑なセル・モジュール構造が、パーツ数の大幅増加や生産工程数の増加を生み、コスト増加や信頼性の低下を生じている？

スポット溶接、多数の組み立てプロセスが必要となる。
更に、その後電気化学的プロセスを行う必要がある。



異常時の信頼性

【問】異常時における、金属集電体から発熱とその抑制は、次代のリチウムイオン電池が根本的に解決してゆくべき潜在的課題ではないか？

異常時の一例として、例えば釘等が刺さった場合に、正極と負極の集電体を通して大電流が流れる。

⇒ 金属集電体は、急激な昇温の最大の要素

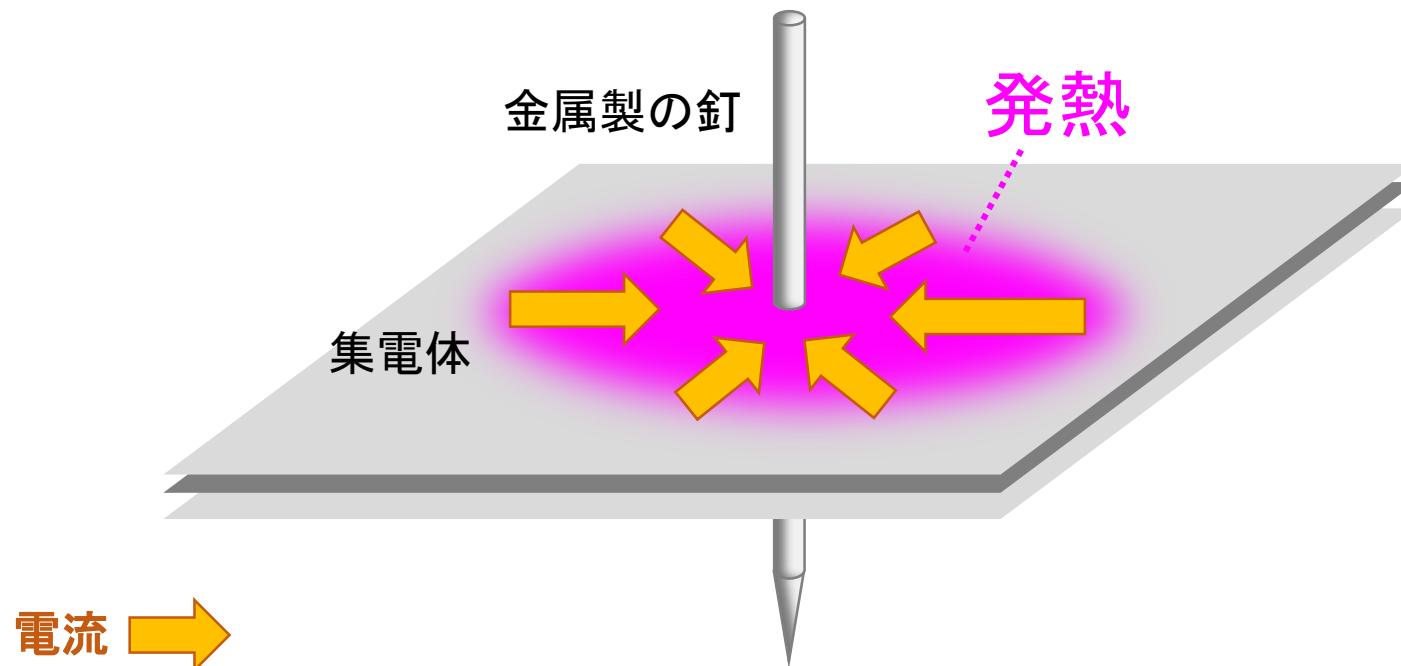


図 内部短絡時の異常時現象

未来のリチウムイオン電池システムへの挑戦

新たな最適構造化デザインへのアプローチ

電池は4つの部分から構成されている

正極
(活物質)

負極
(活物質)

電解質
(イオン伝導層)

集電体
(電子伝導層)

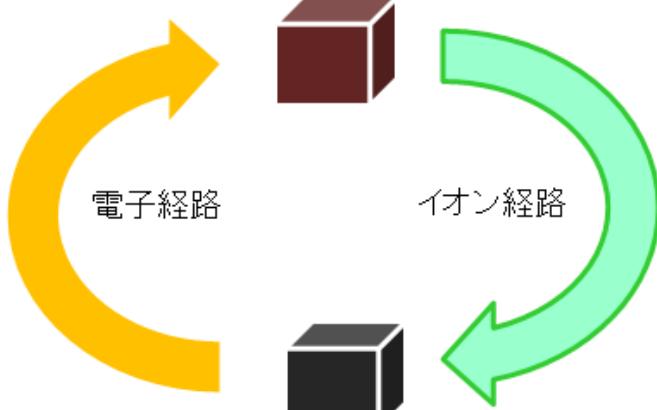
現在の電池は、金属電極(集電隊)を基盤として、この上に工学的に構築されている

未来のリチウムイオン電池システムへの挑戦

高性能電池システムに求められる機能

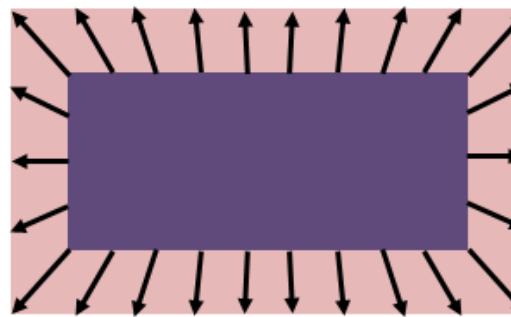
反応

正極活物質



構造

充放電に伴う大きな体積変化



電気化学反応デザイン

イオン伝導性

電子伝導性

構造デザイン

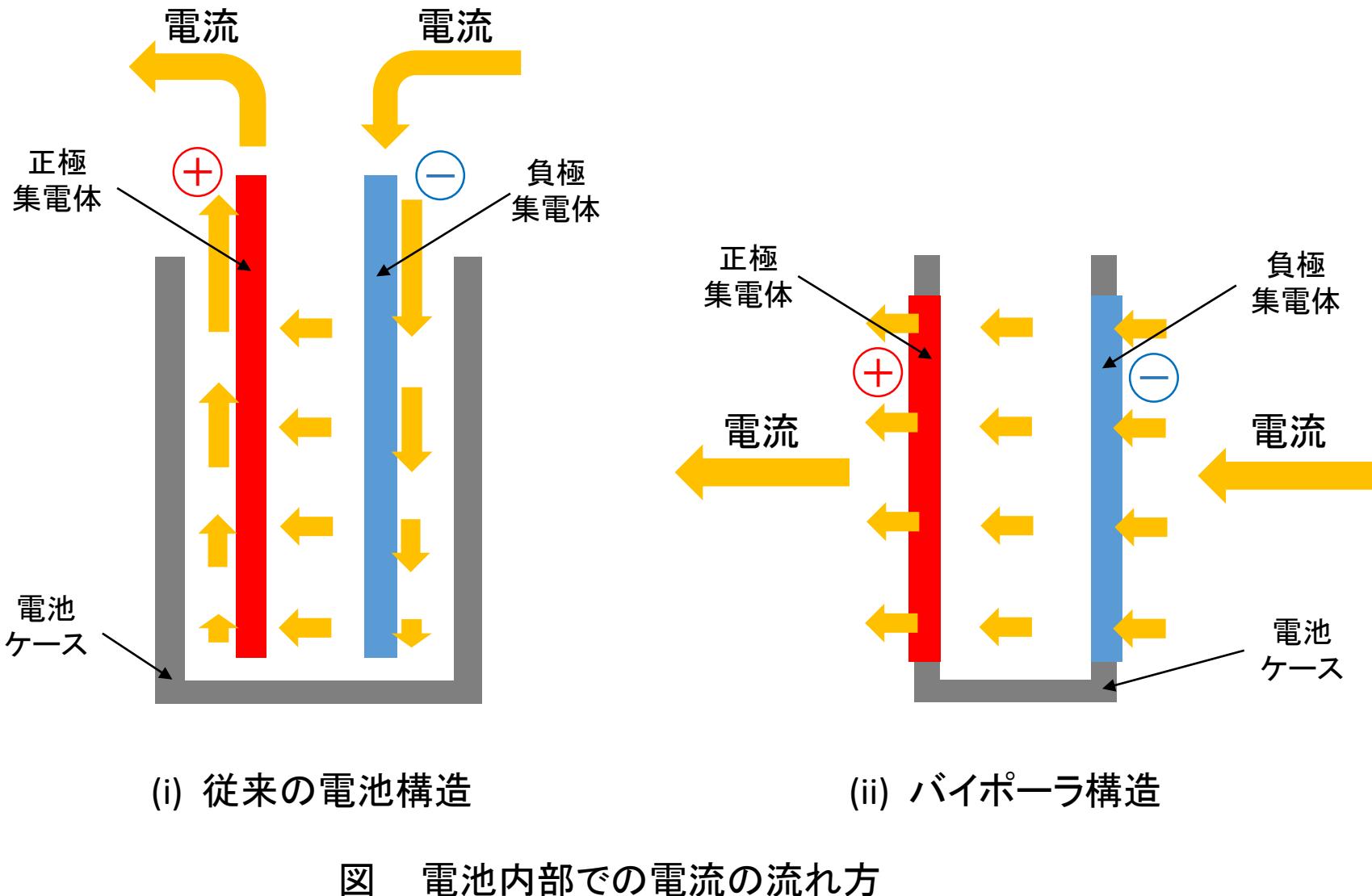
接合性

弾性

充放電する度に、
“(内部)応力実験”を行っている様なもので
あり、界面に応力が
集中する

未来のリチウムイオン電池システムへの挑戦

バイポーラ構造の必然性

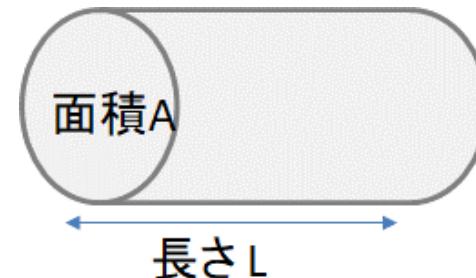


未来のリチウムイオン電池システムへの挑戦

集電体の機能とバイポーラ構造の必然性

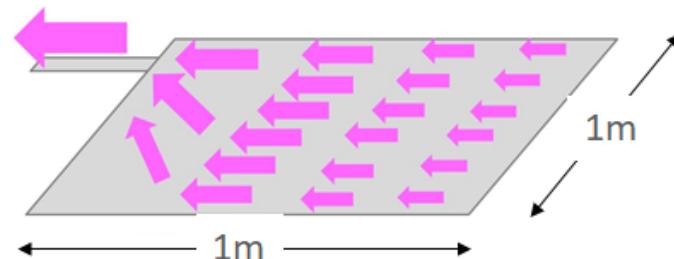
電気抵抗 R の値は、電気抵抗率を ρ 、導体の長さを L 、導体の断面積を A とすると次の式で示される。

$$R = \rho \frac{L}{A}$$



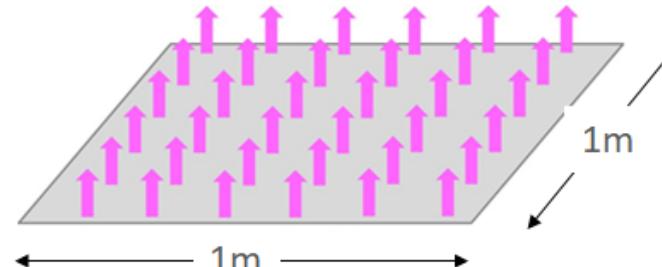
【計算例】 1m(長さ) × 1m (幅) × 10⁻⁵ m(厚さ) での比較 集電体の抵抗比較

(1) 集電体に平行に電流が流れる場合
(従来の電池構造)



$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{1}{1 \times 10^{-5}} = \rho \times 10^5$$

(2) 集電体に垂直に電流が流れる場合
(バイポーラ電池構造)

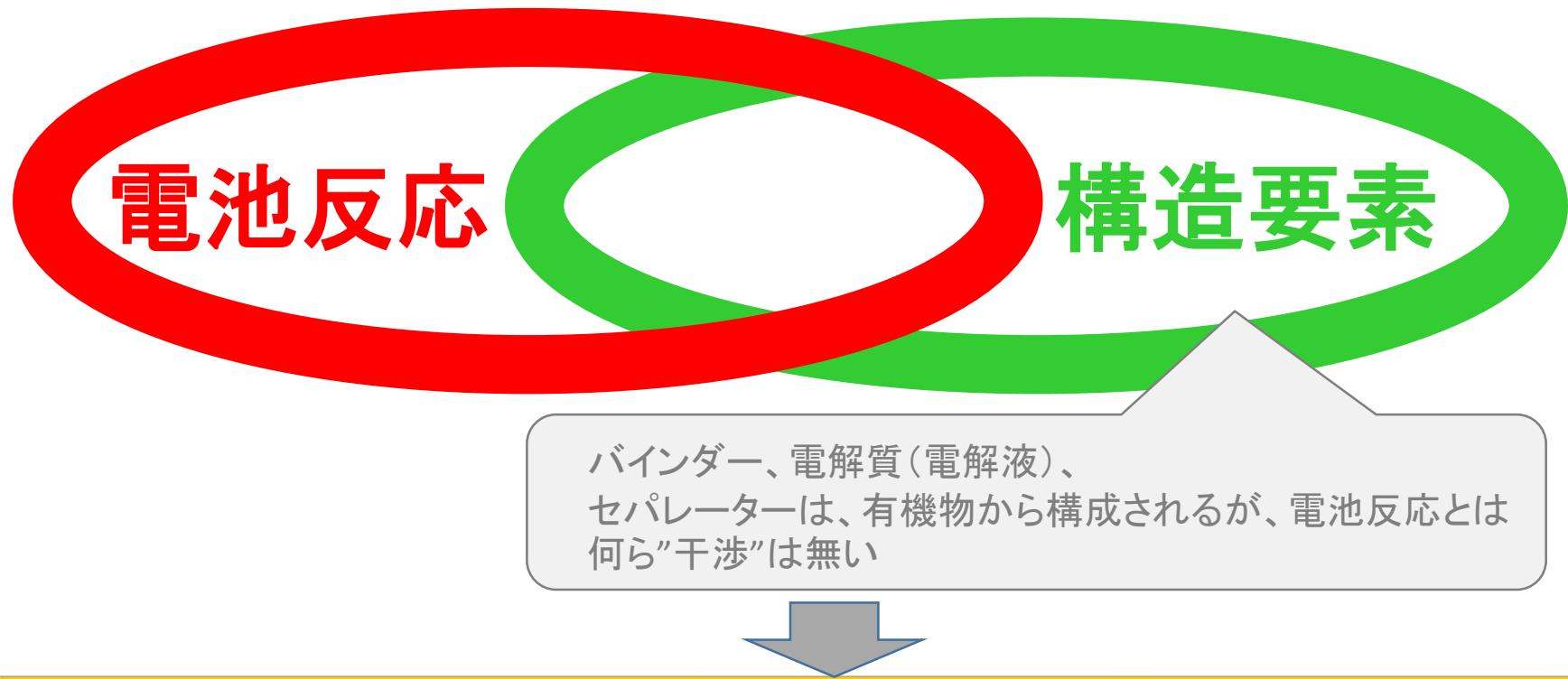


$$R = \rho \frac{L}{A} = \rho \frac{10^{-5}}{1 \times 1} = \rho \times 10^{-5}$$

未来の人工物に向けた全く新しい電池デザイン概念の必要性

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術創出への道

電池反応を可逆的に行うと同時に、人工物として、最適な構造デザイン・コンセプトの確立が求められる



ポリマー構造を基本骨格として捉え直すと同時に、多機能を同時に発現する界面インターフェースをポリマーを活用し生み出す

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出 (1)

多機能ポリマー界面 (multi-functional Polymer Interface) の構築

各種の機能を有する
有機物材料を、活物質
表面にデザイン・設置
することで、必要とされ
る様々な機能を発現す
るインターフェースを形
成する

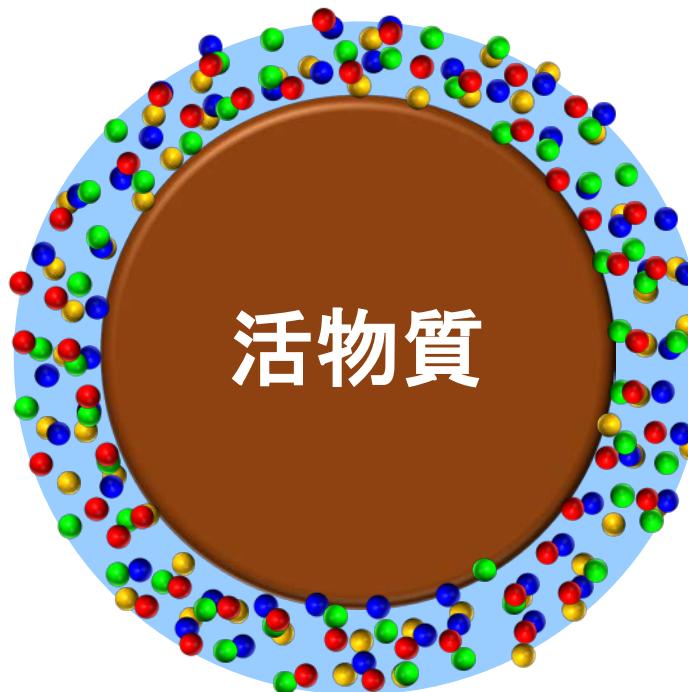


図 多機能ポリマー界面 mfPI (multi-functional Polymer Interface)

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出 (2)

3dPE (3-dimensional Polymer Electrode)の構築

mfPIを有する活物質微粒子を集合することで、電子伝導性とイオン伝導性のネットワークを構築する

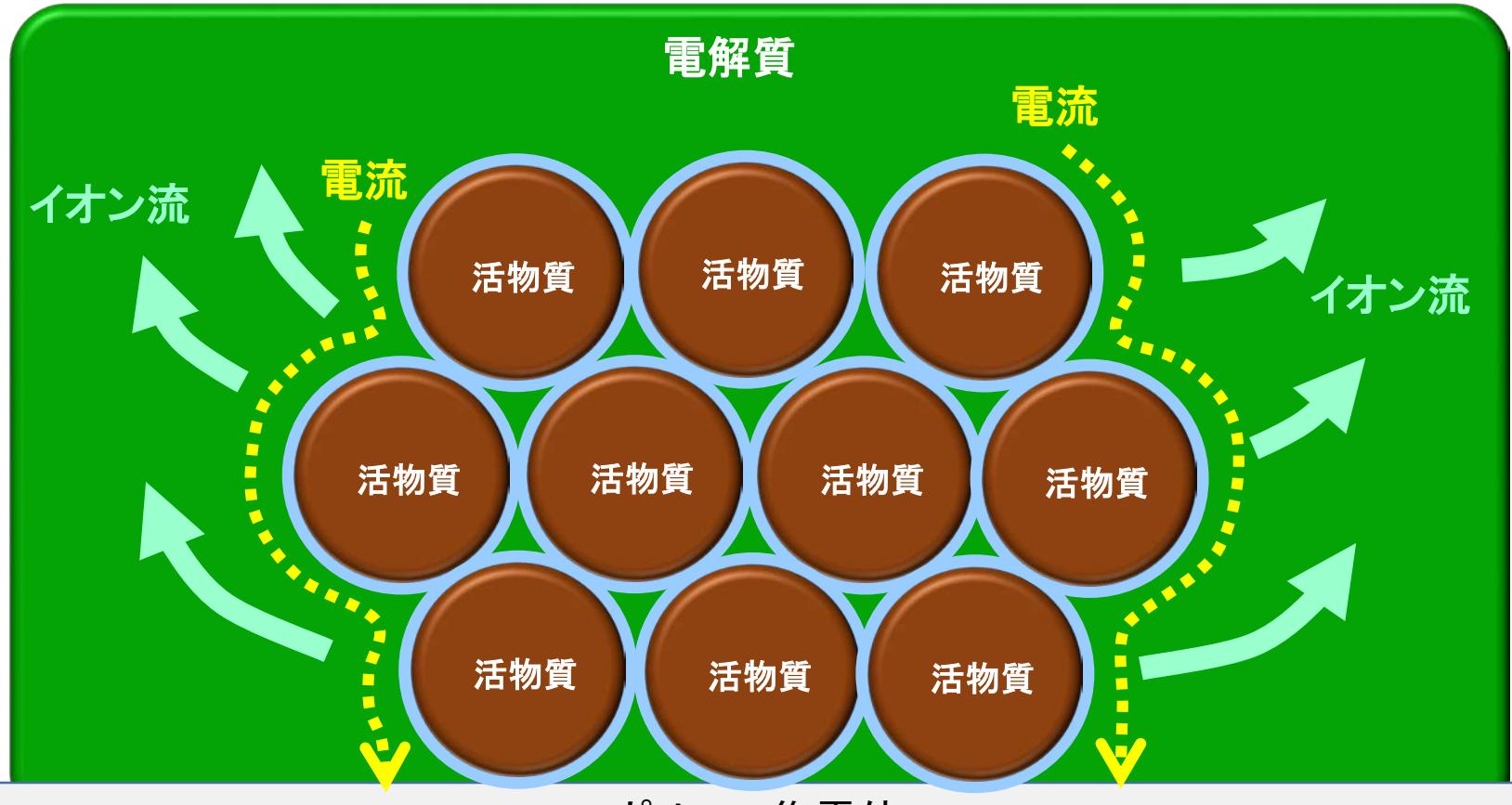


図 3dPE (3-dimensional Polymer Electrode) の概念図

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出 (2)

3dPE (3-dimensional Polymer Electrode)の構築

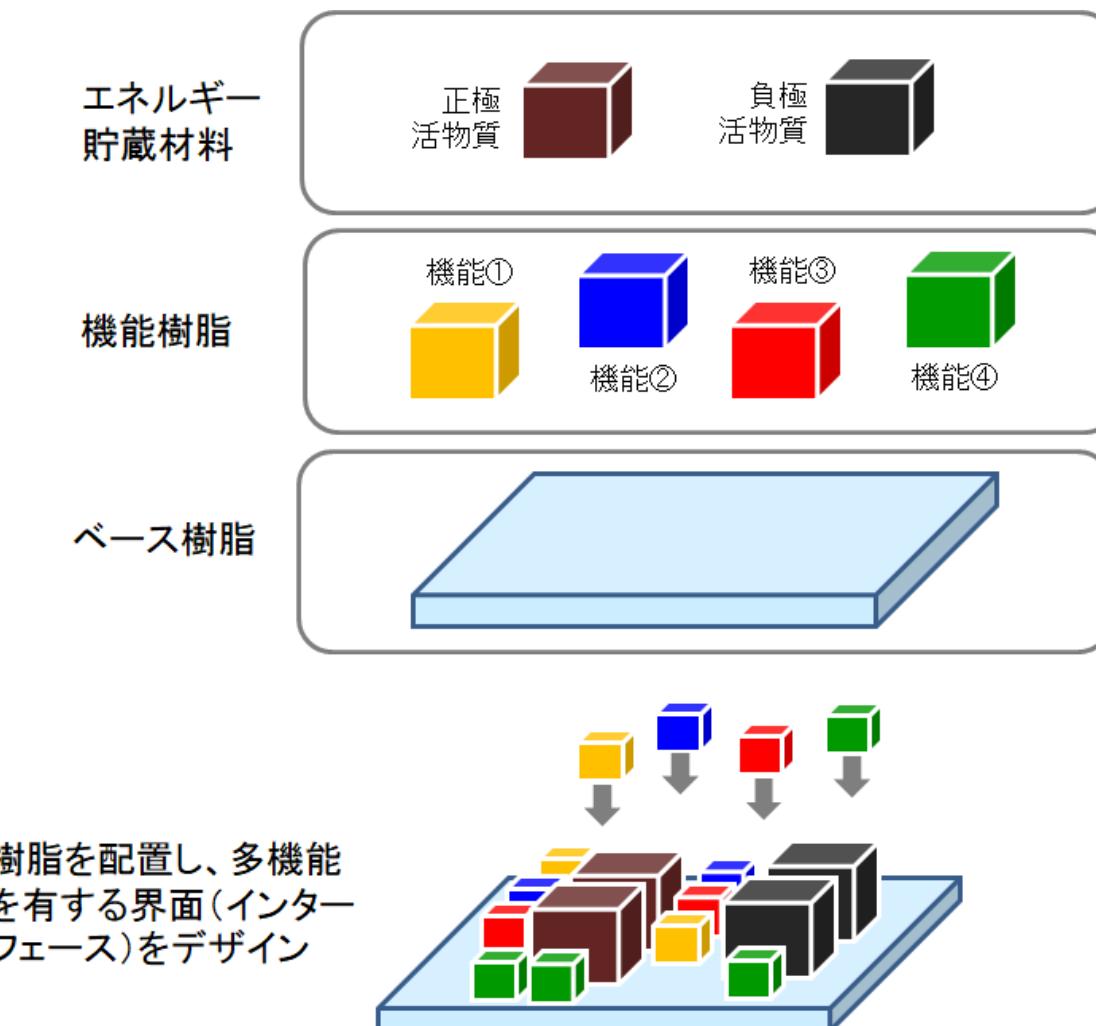


図 様々な機能を有する樹脂の配置

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出 (3)

セル構造化CSfP (Cell Structuration with functional Polymers)

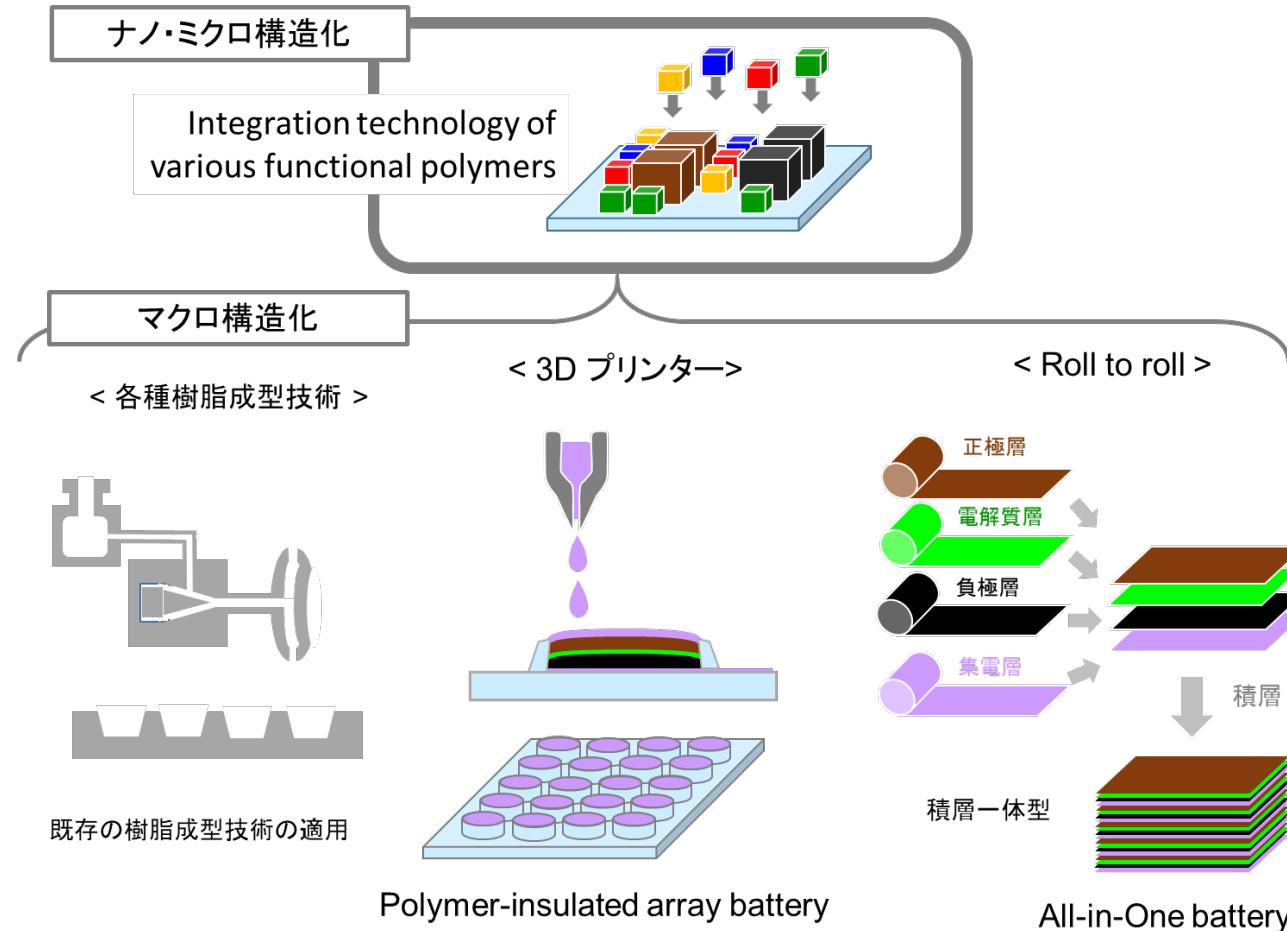


図 セル構造化 CSfP (Cell Structuration with functional Polymers)

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出 小型LSiPセル



小型LSiPセル(スマートフォーンサイズ)

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出 多様な形状のLSiPセル



様々なセル形状・サイズが容易に作成可能

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出 試作したLSiPセル(大サイズ)

LSiPセルを重ねることで、最も簡素構造のバイポーラ組電池を構築できる



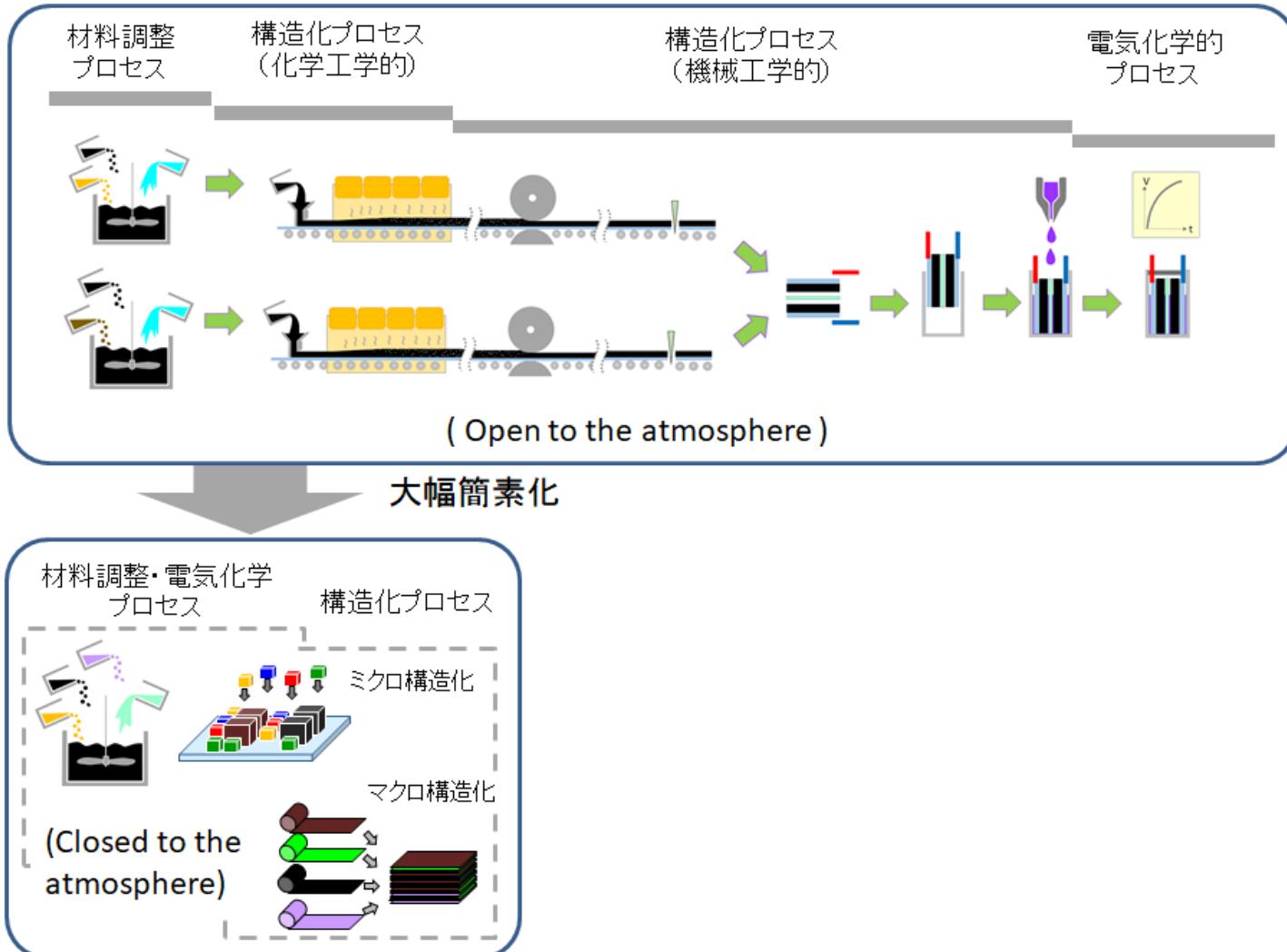
定置用セル(約 60cm x 100cm)
(手前は比較のためのスマートフォーン)

セルの表・裏面はそれぞれ樹脂集電体で覆われ、構造体であると同時に正極・負極電極の機能を有する。複数のLSiPセルをそのまま重ねてゆくことで、(何ら金属タブやバスバーを介さず)、**バイポーラ組電池**が構成できる。(⇒ セルがそのまま組電池となる)

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出(4)

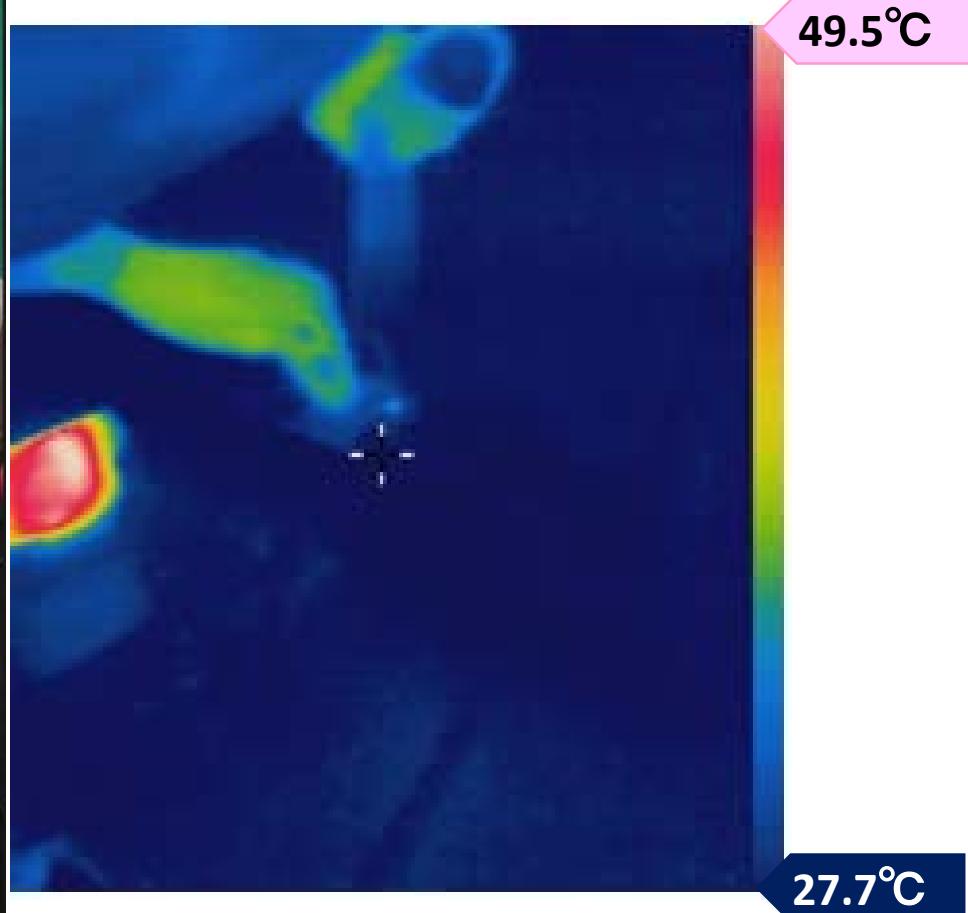
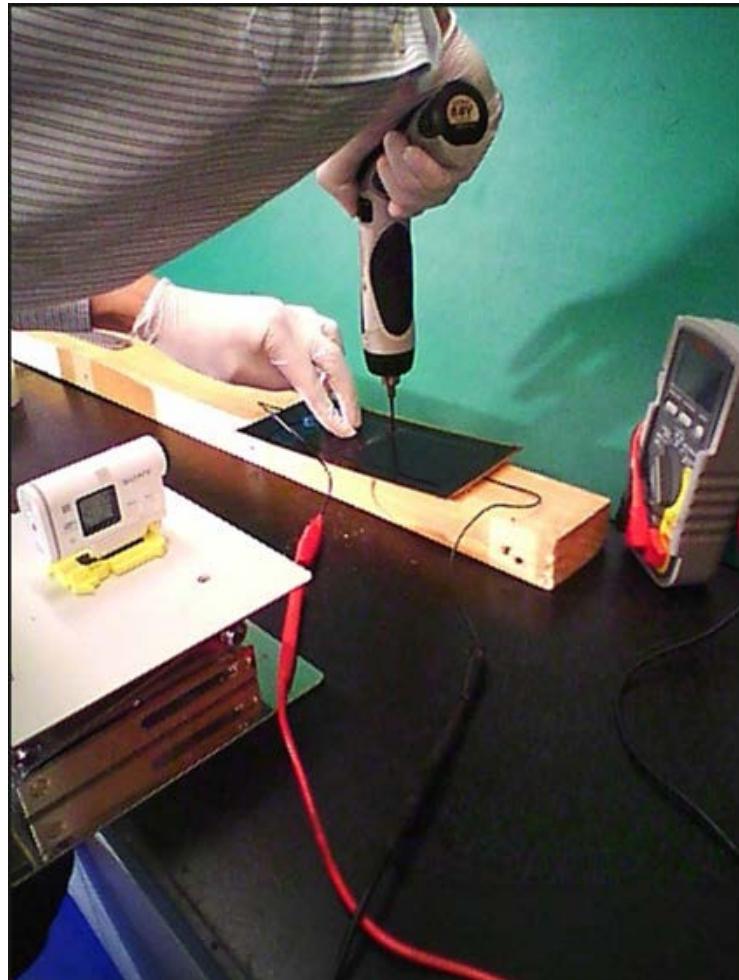
生産プロセスの革命を齎す

最も簡素構造のLSiPセルは、生産工程も大幅に簡素化できる



LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出 (5) 異常時の信頼性

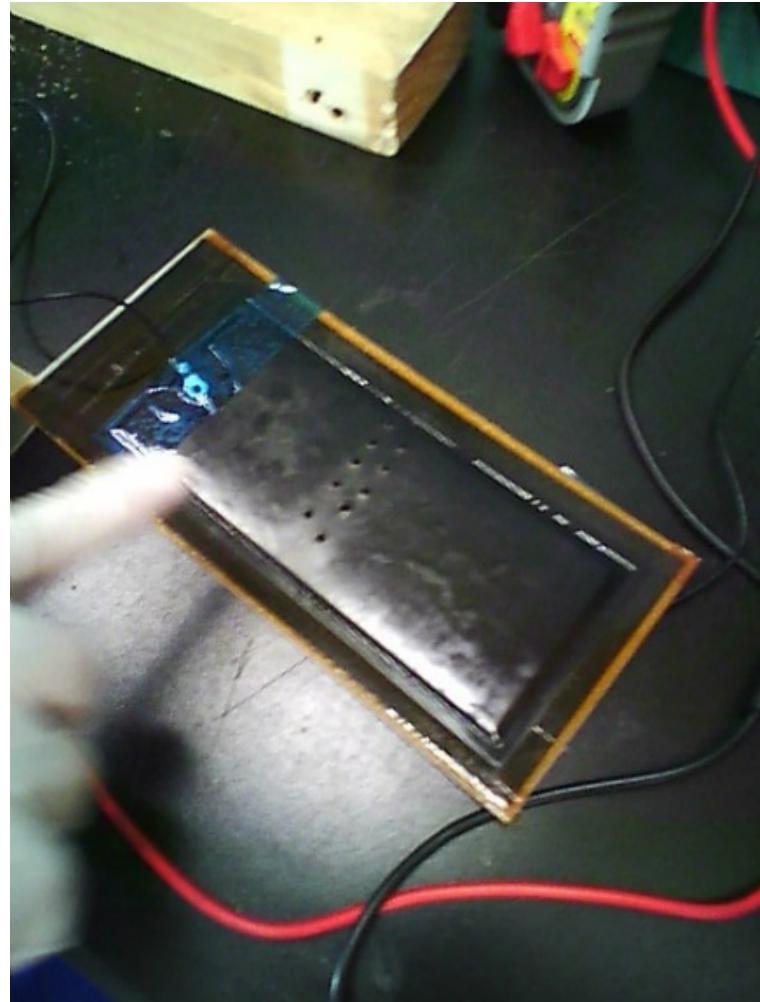
ドリル(金属製先端部)による穿孔でも、温度上昇は1°C以下



(1-a) ドリルによる孔あけ(10か所)

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出 (5) 異常時の信頼性

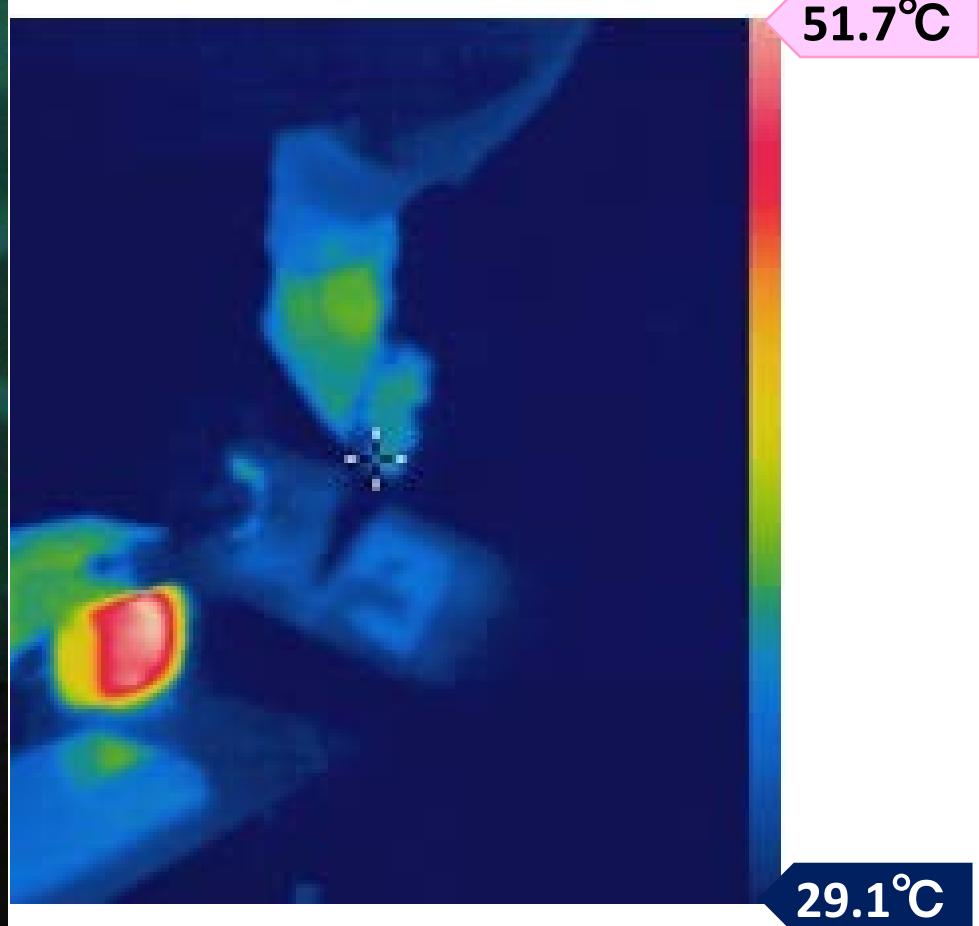
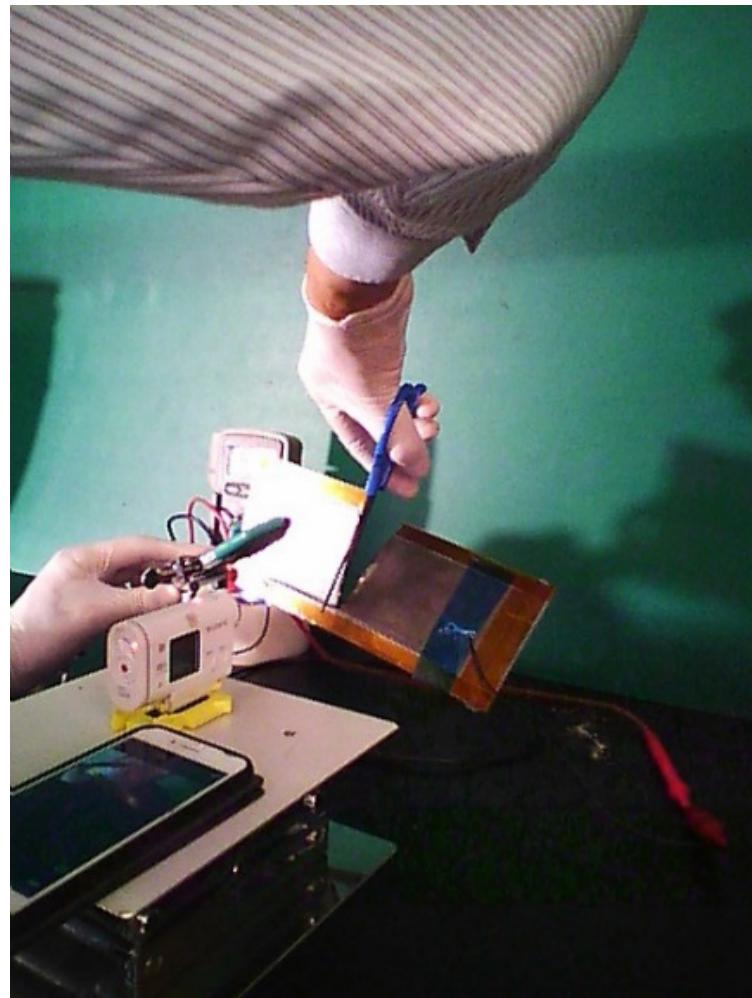
ドリル(金属製先端部)による穿孔でも、温度上昇は1°C以下



(1-b) ドリルによる孔(10か所)

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の創出 (5) 異常時の信頼性

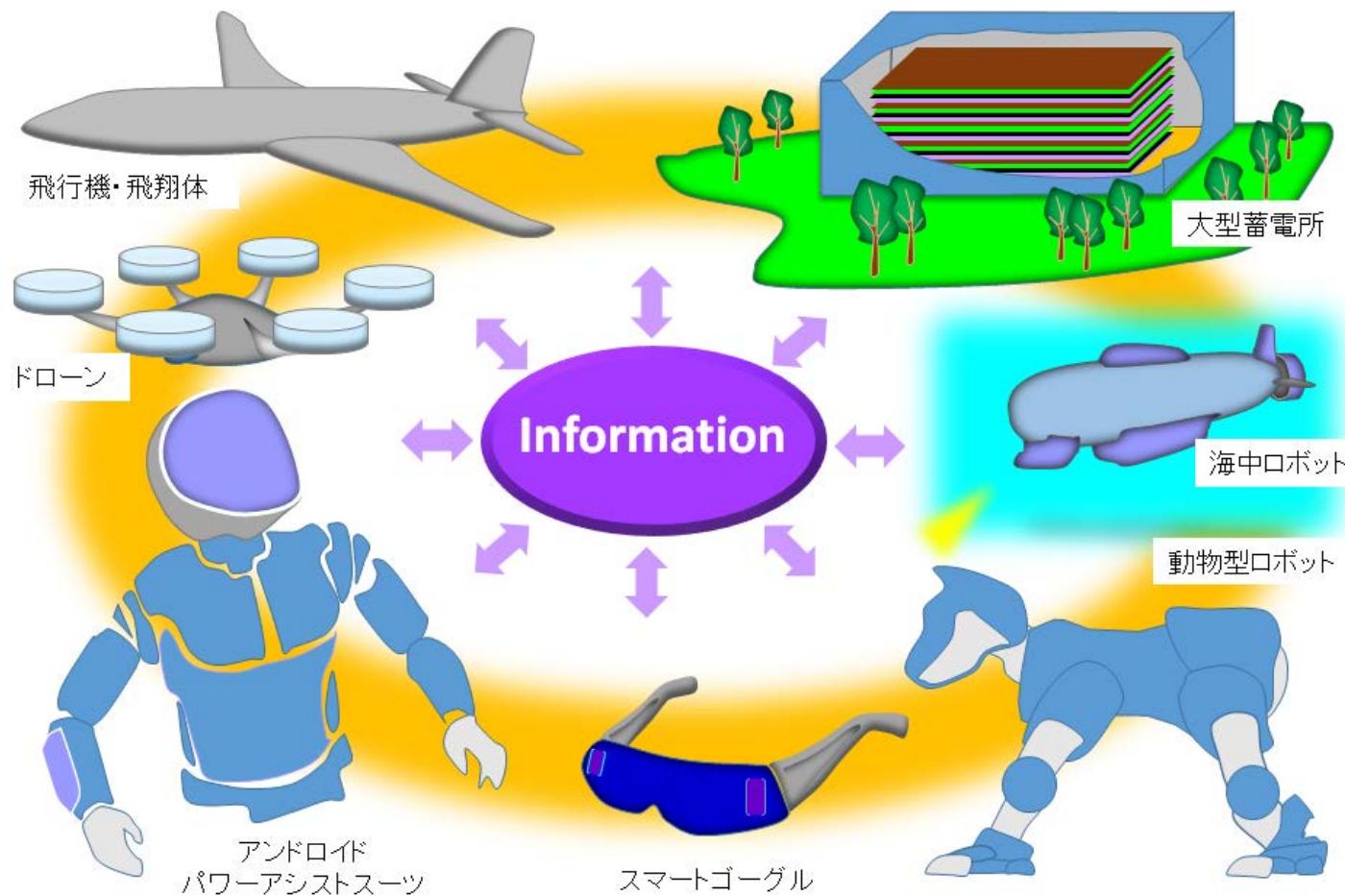
ハサミ(金属製)による切断でも、温度上昇は1°C以下



(2) ハサミによる切断

未来の人工物に向けた全く新しい電池デザイン概念の創出

LSiP(Large Scale integrated Polymer)技術の誕生



【謝辞】 本研究は、三洋化成工業株式会社様との共同研究です。
心から感謝申し上げます。

