

**リチウム回収技術の確立に向けた共同研究講座の設立**

# **リチウム資源回収のための 新しい電気透析技術**

**弘前大学 大学院理工学研究科**

**教授 佐々木一哉**

**2022年4月21日（木）**

# ガソリン車・ディーゼル車の新車販売

	国名	規制開始年	ガソリン車 ディーゼル車	プラグイン ハイブリッド車	新車市場規模 (2018年度／台)
	中国	2035	ハイブリッド車 のみ許可 (50%)	規制なし	28,080,600
	アメリカ (カリフォルニア州)	2035	販売禁止	販売禁止	5,338,338
	ドイツ	2030	販売禁止	販売禁止	3,435,778
	インド	2030	販売禁止	販売禁止	3,287,965 (2017年)
	イギリス	2030	販売禁止	販売禁止 (2050年から)	2,367,147
	フランス	2040	販売禁止	販売禁止	2,003,506
	カナダ (ブリティッシュコロンビア州 ケベック州のみ)	2035	販売禁止	規制なし	1,321,438
	スペイン	2040	販売禁止	販売禁止	

日本政府も2030年代半ばにガソリン車販売禁止の意向

# リチウム資源の需要予測

<https://www.meti.go.jp/press/2018/11/20181114004/20181114004.html>

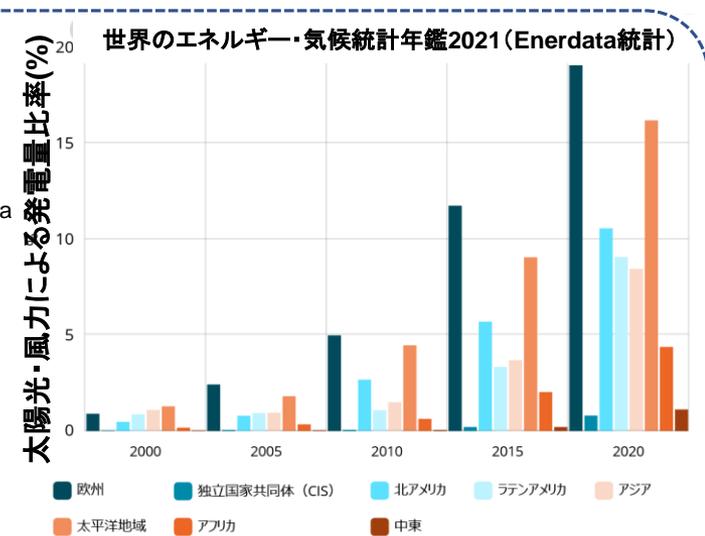
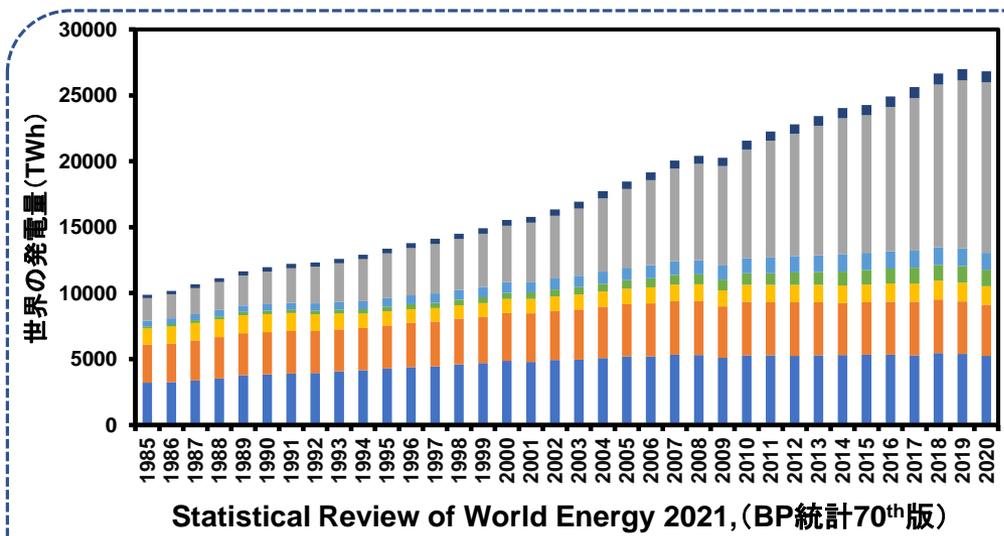


- ドローンやロボットが使われる
- 動力源はLIBs

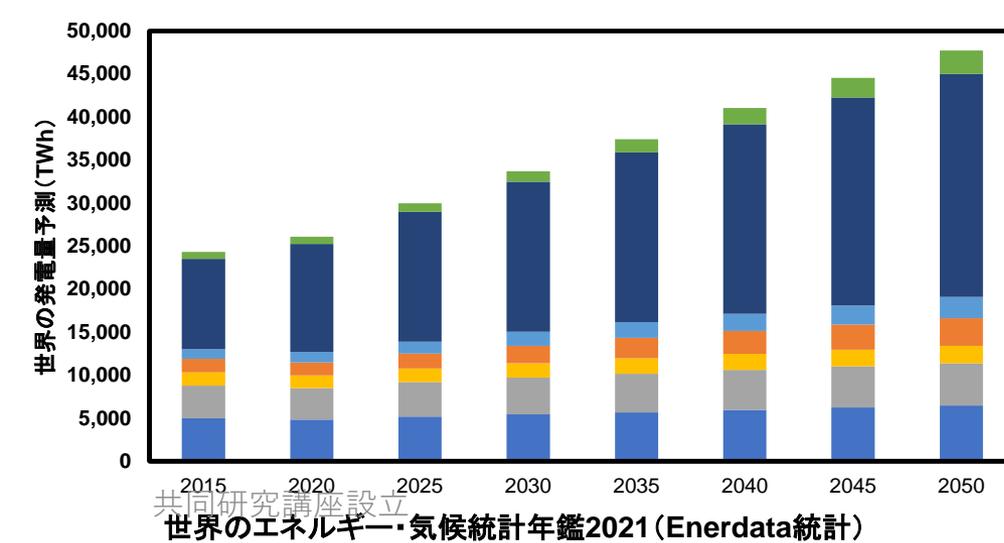


LIBsの新市場が誕生

# 世界の太陽光・風力発電の増大と影響



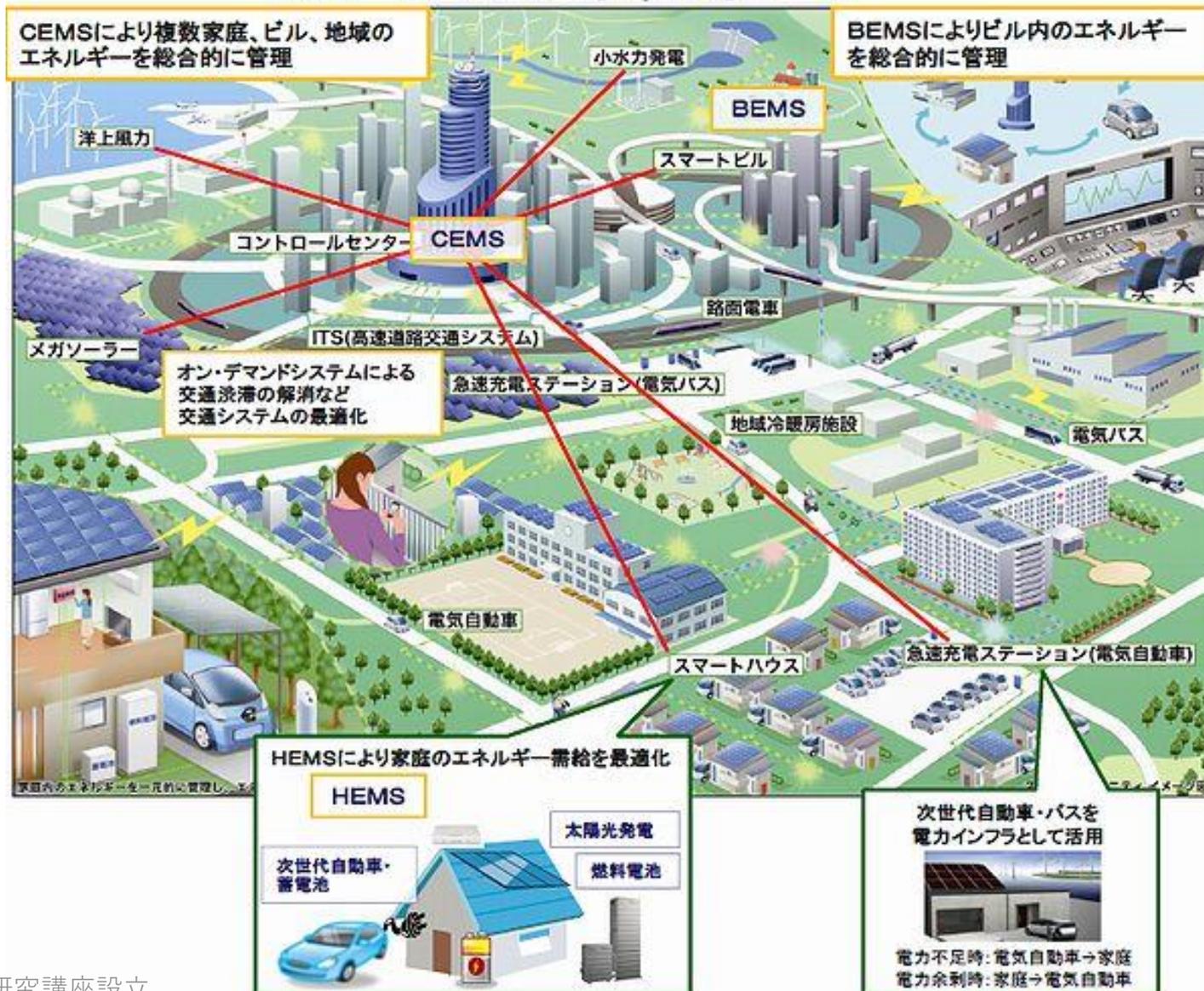
太陽光や風力による  
発電量比率が増大している



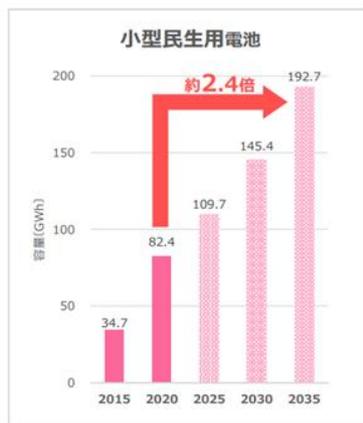
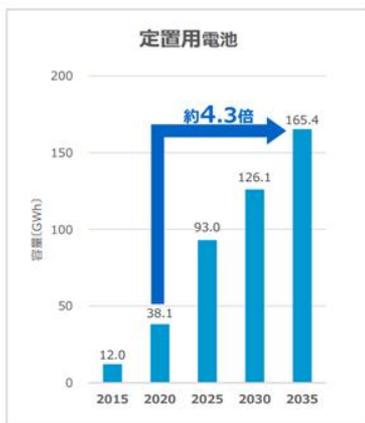
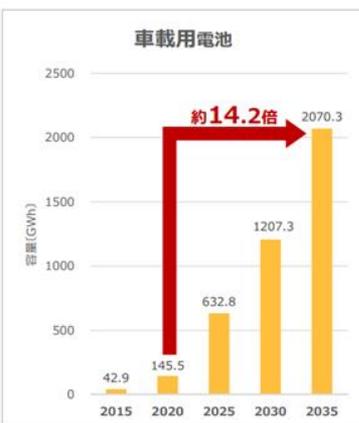
太陽光や風力による発電量  
費率の更なる増大が見込ま  
れ、**電力の瞬時バランス制  
御の困難さが急激に増大す  
る**

# スマートグリッド用LIBsの市場

## スマートコミュニティのイメージ



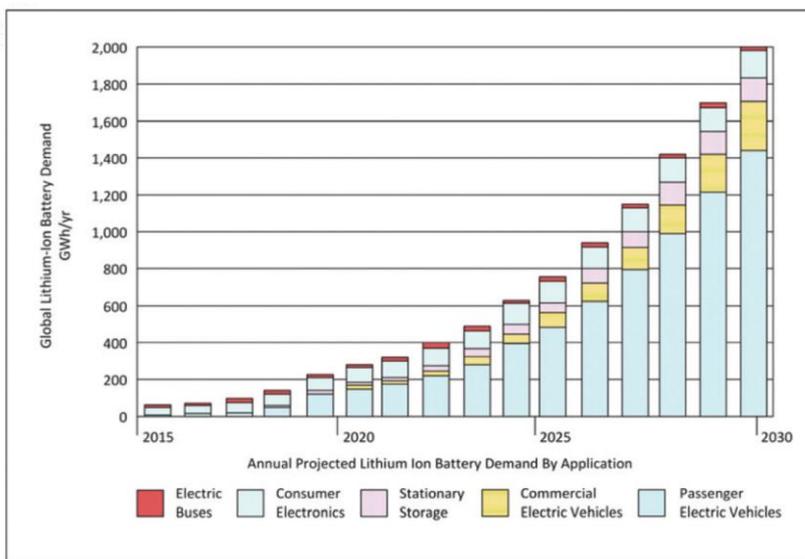
# 蓄電池世界市場の推移(容量ベース・世界)



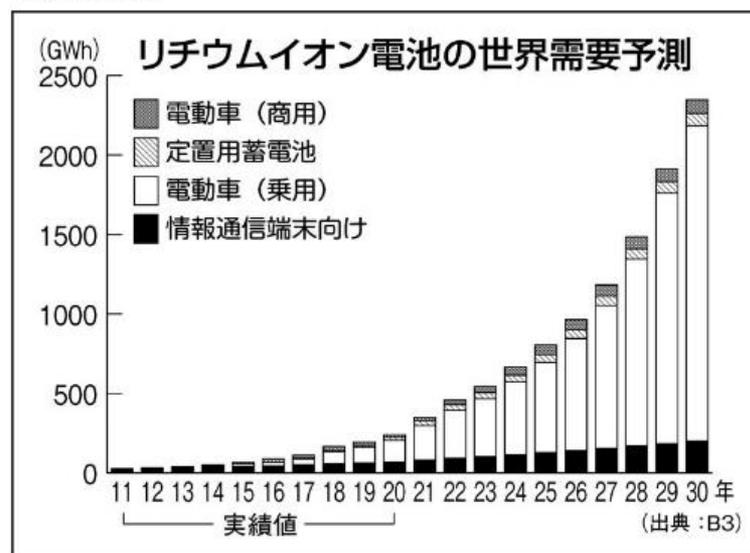
富士経済「エネルギー・大型二次電池の将来展望2021」

「2020電池関連市場実態総調査<上巻・電池セル市場編>」

※いずれもLIB以外の電池を含む



D. L. Thompson et al., *Green Chem.* **22** (2020) 7585.

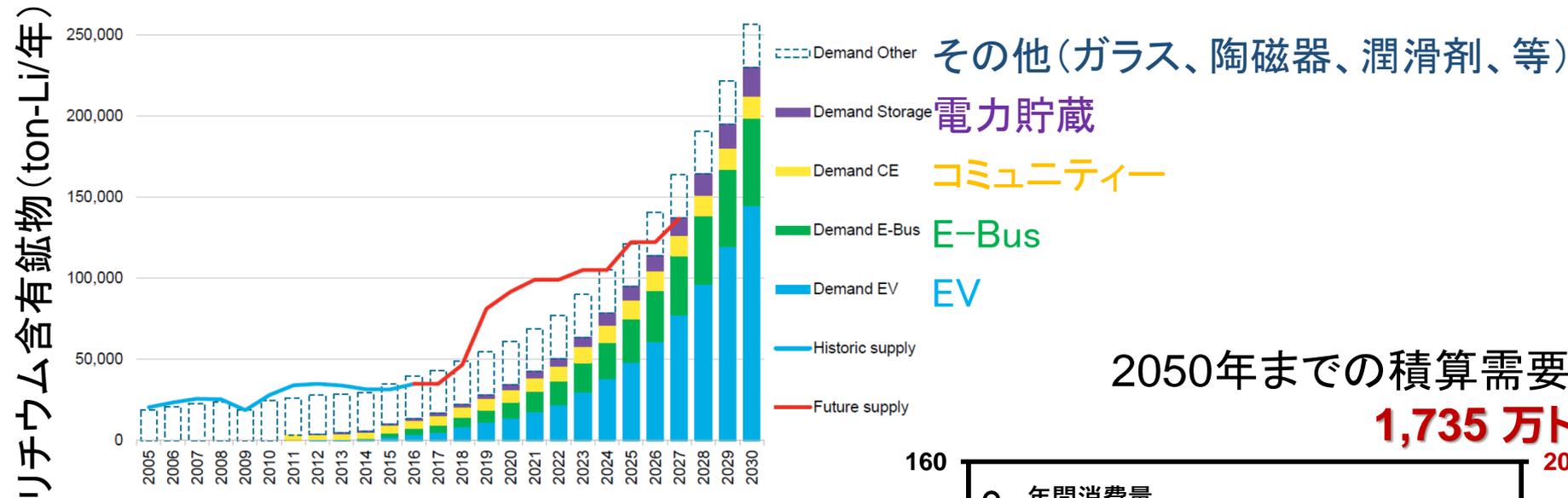


調査会社B3 (東京都千代田区) による需要予測

EV等を中心とした多様な市場でLIBsの需要が急拡大する見通し。それに伴い、Li資源の需要は急増すると推定される。

# リチウム資源の市場(世界)実績・予測

## リチウムイオン電池需要の増大による

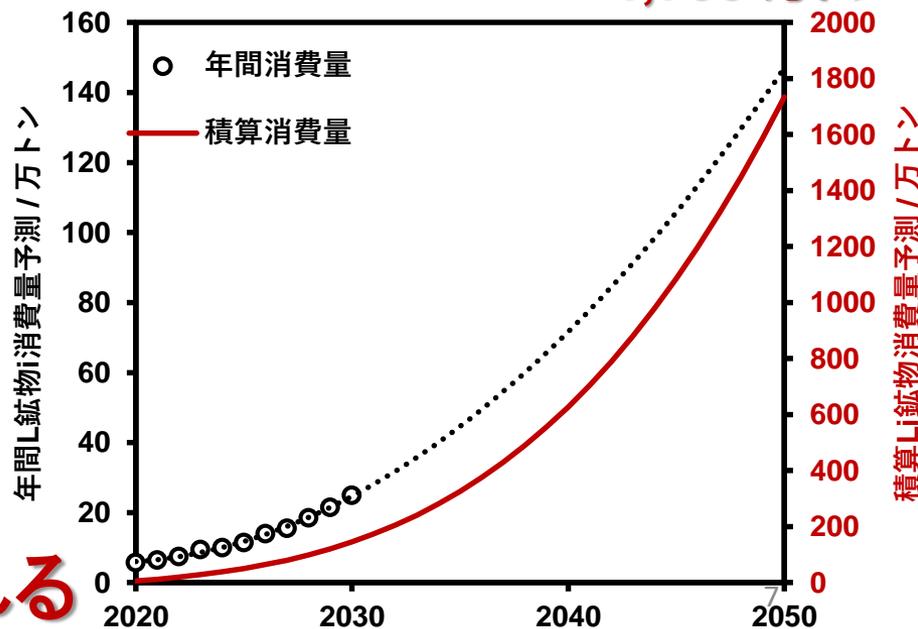


2050年までの積算需要量  
**1,735 万トン**

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteiky/cobalt.html>



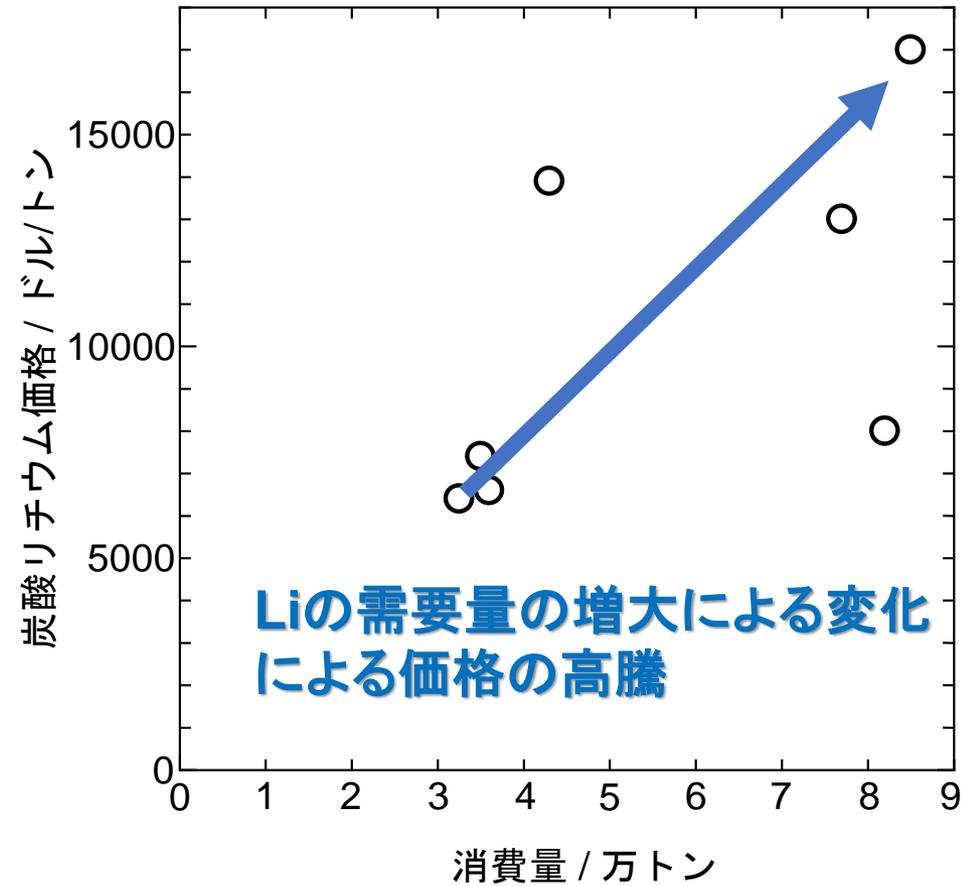
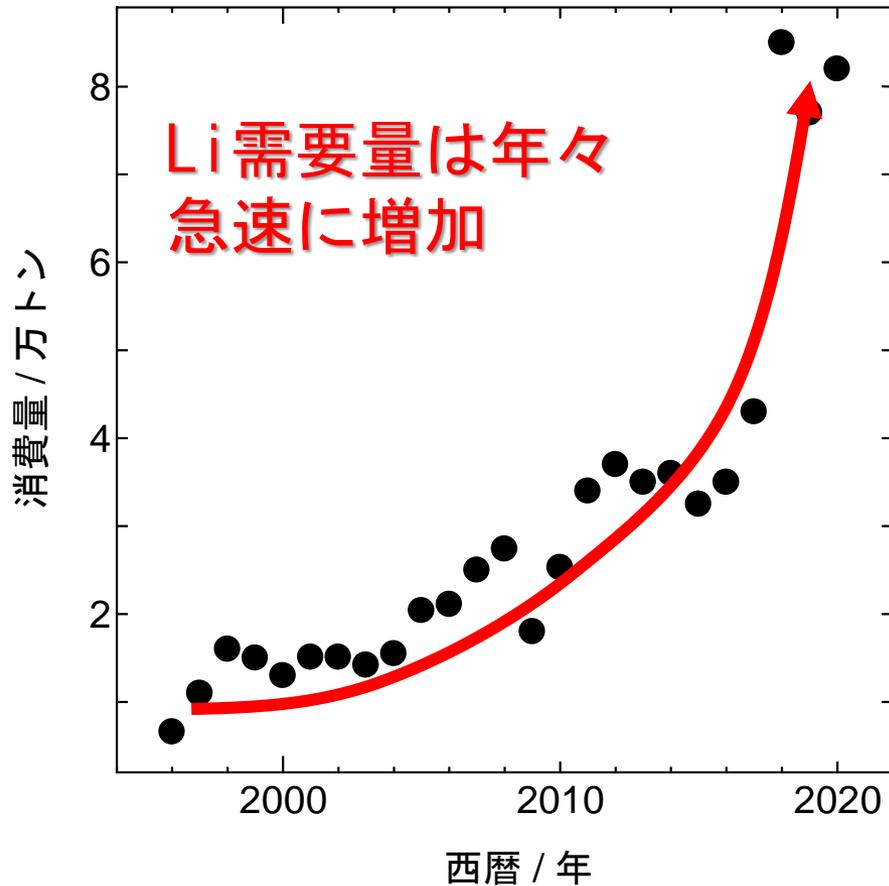
2030年以降も同様の市場拡大  
が継続すると仮定すると



**リチウムの供給不足  
および価格の急騰が懸念される**

# リチウム資源の需要の推移 及び 単価の推移

<https://www.usgs.gov/centers/nmic/lithium-statistics-and-information>



LIBs市場の拡大に伴い、**リチウム資源需要は加速度的に増大**している。  
同時に、**リチウム資源価格は急騰**している。

# 新欧州規制(2022採択予定)

**目的:** EU市場に投入される電池が、そのライフサイクルを通じて持続可能であることの保証

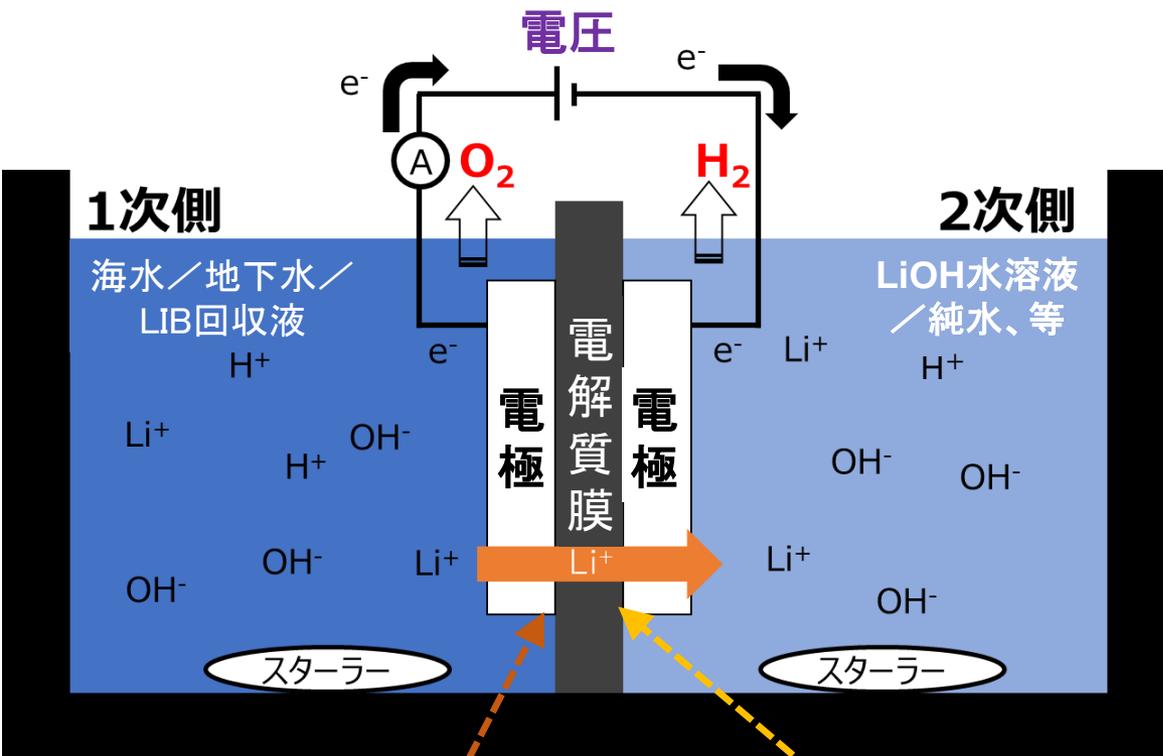
**対象:** EU市場における軍事及び宇宙用以外の全ての電池

		従来(EC2006/66)	新しい規制(COM[2020]798)		
位置づけ		指令(Directive)	規則(Regulation)		
強制度		加盟国政府が法化する際に盛り込む	国内法化するプロセスを経ず、EU加盟国に一律に適用		
時期(回収に関して)		現在	2025年	2030年	2025年
ポータブル電池の収集目標	廃LIBs	45%	中レベル;65%	高レベル;70%	超高レベル;75%
	Li	義務なし	35%	70%	
回収目標	廃LIBs	未設定	65%	70%	
	Li		35%	70%	

(2 kWh以上のLIBs)		従来(EC2006/66)	新しい規制(COM[2020]798)	
時期		現在	2030年1月1日	2035年1月1日
リサイクル材料の使用目標	Li	蓄電池の重量の50%	4%	10%
	Ni		4%	12%
	Co		12%	20%

EV用廃LIBsは自動車メーカーを中心とした専門企業が拡大生産者責任(Extended Producer Responsibility: EPR)として廃LIBsの回収義務を有するため、収集ネットワークを構築して大容量なEV用廃LIBsを確実に回収する必要が生じる。

# 電気透析法(従来方式)



電気透析とは

- ①電解質膜(Li<sup>+</sup>伝導性の膜)に電圧を印加する
- ②電気化学ポテンシャル差が駆動力となり、Li<sup>+</sup>が移動する

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>添加などで炭酸塩化する

## 特長

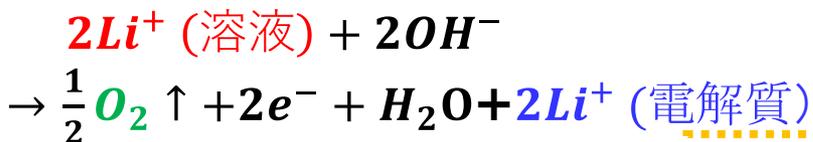
### 【回収性能】

- ①高いLi選択性(高純度)
- ②高いエネルギー効率
- ③H<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>を同時製造

### 【設備・工程】

- ①連続式処理
- ②工程・構造が単純
- ③大型化が容易
- ④既存電解質で可能

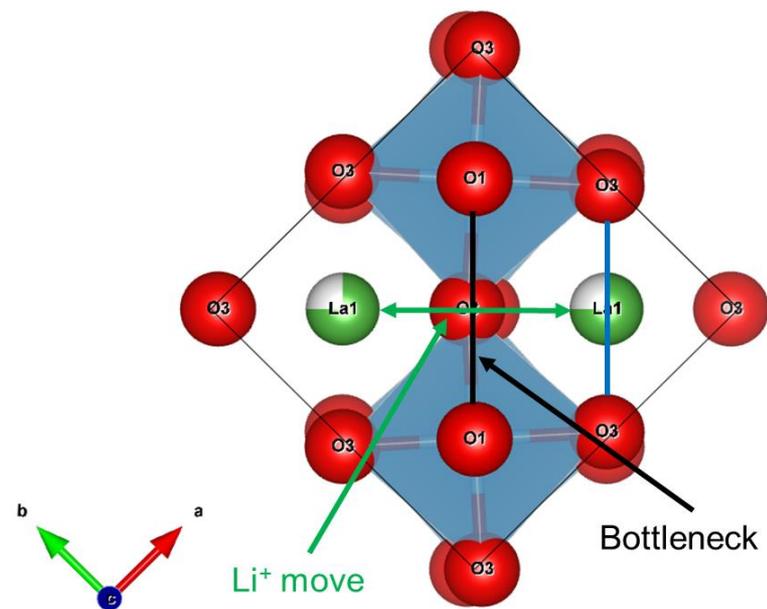
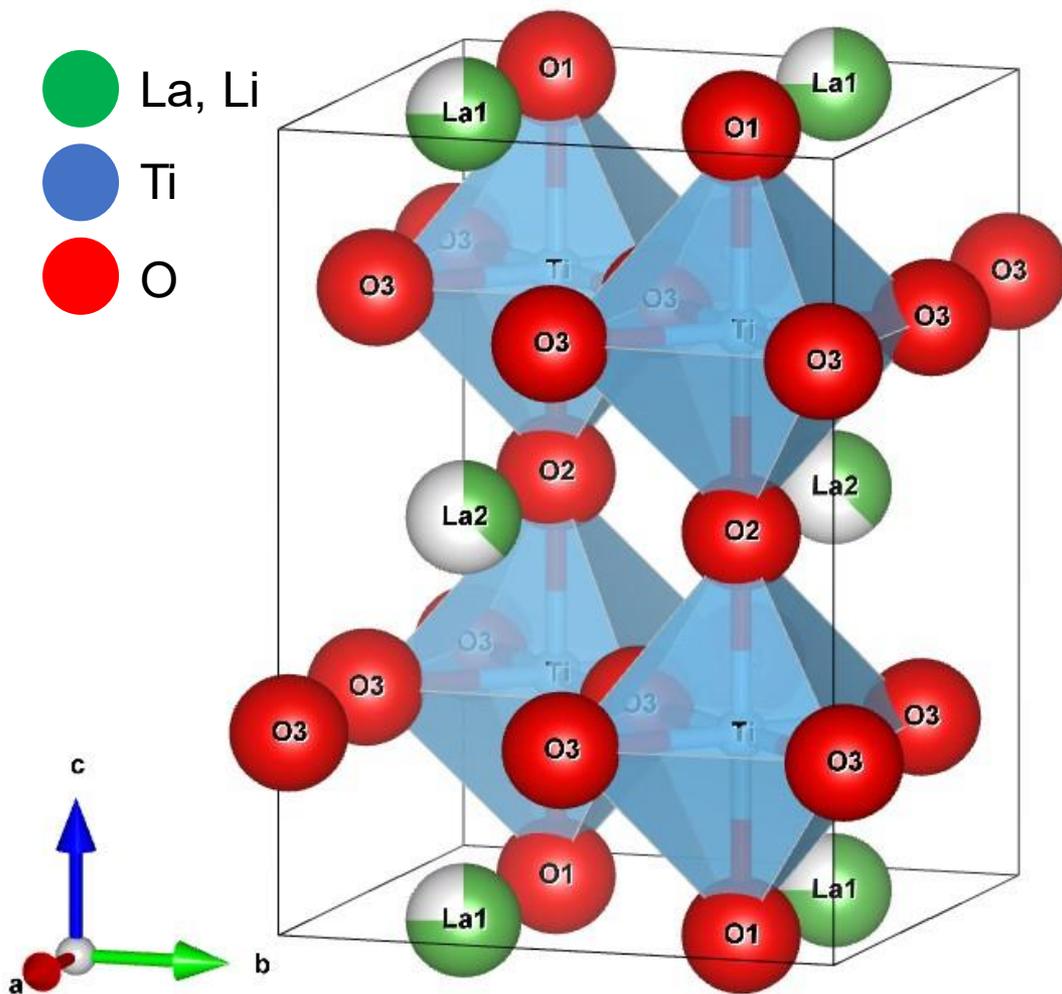
## 1次側反応



## 2次側反応



# 高いLi選択性



Bottleneck	1.12	Å
Li <sup>+</sup>	0.92	Å
Na <sup>+</sup>	1.39	Å
K <sup>+</sup>	1.64	Å

電解質膜:  $\text{La}_{0.57}\text{Li}_{0.29}\text{TiO}_3$  (LLTO)

# 従来方式の課題

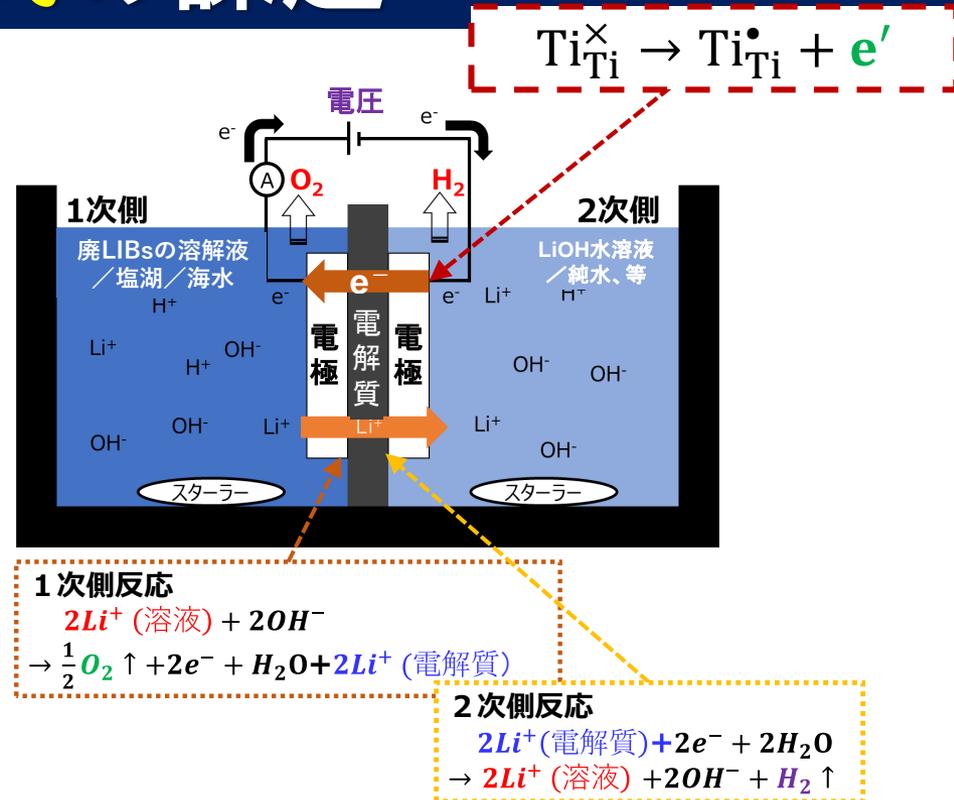
**課題①:** 印加電圧を大きくしても**回収速度が増大しにくい**。

**課題②:** 印加電圧を大きくする(回収速度を上げる)と**エネルギー効率の低下が激しい**。

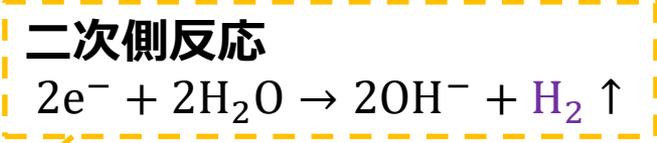
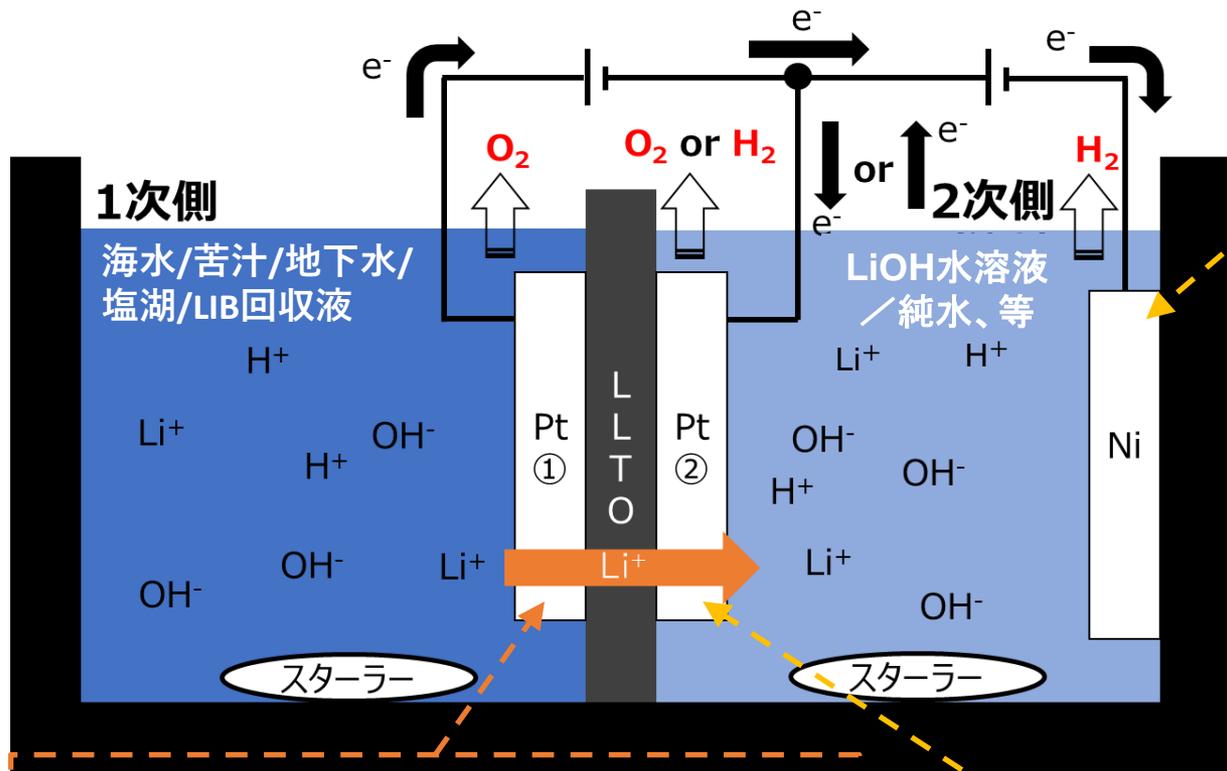
**原因①:** 電解質の電位が、構成イオンの還元電位 ( $Ti^{4+} \rightarrow Ti^{3+}$ ;  $-0.488$  V vs SHE) 以下に低下し、電解質中に**電子伝導が発現する**。

- 印加電圧を大きくすると電流効率が低下し、 $Li^+$ ではなく**電子( $e^-$ )**が移動の**主体となる**。(=「 $Li^+$ 移動の駆動力[電気化学ポテンシャル差]を増大させることが困難」と同義。)**【速度が上がらない: 課題①】**
- 電解質中の電子伝導により、**投入エネルギーの大半が熱 ( $Q=I^2R$ ) や  $Li^+$ 移動を伴わない  $H_2O$  の電気分解エネルギーとして損失する**。(R: LLTOの伝導抵抗)**【エネルギー効率が低下する: 課題②】**

**原因②:** 装置の**ディメンジョン**(電解質面積=電極面積)の制約で、**律速過程( $H_2$ 発生)の速度を上げられない**。**【速度が上がらない: 課題①】**



# 弘前大学方式



- 【回収性能】**
- ①高いLi選択性
  - ②**更に**高いエネルギー効率  
(高速回収時も低下し難い)
  - ③H<sub>2</sub>とO<sub>2</sub>を同時製造
  - ④大きな回収速度
  - ⑤低濃度溶液から回収可能
- 【設備・工程】**
- ⑥連続式処理
  - ⑦工程・構造が単純
  - ⑧大型化が容易
  - ⑨既存の電解質で可能

