

2017年度 第1回シンポジウム
「自由化・再エネ普及の鍵を握る電力取引市場」

北欧・ノルウェーの”グリーン・バッテリー“等 を巡る議論と今後の展望

一橋講堂・中会議室、2017年11月2日

京都大学大学院経済学研究科
再生可能エネルギー経済学講座

特任教授 加藤 修一

資料:ノルウエー・Satkraft社、ノルウエーのBlasjo湖:貯水容量は7.8TWh(78億KWh)はドイツのGoldistahl(PSP)の約1000倍に相当

北欧・ノルウェーの”グリーン・バッテリー“等を巡る議論と今後の展望

1. 極北GIFSN東西グリッド(仮称)について
2. ノルウェーとグリーン・バッテリー議論
3. (ネガティブな)外部性効果と大転換? へと動くEV
4. 電力のオペレーション等の支援システム
5. まとめ

欧州委員会のEU実績報告



2017.2



■ 欧州委員会は本日、欧州連合（EU）の経済の近代化と低炭素時代への移行が順調に進んでいることを示す、エネルギー同盟（Energy Union）に関する2度目の報告書を公表。

(1) 温室効果ガス、エネルギー効率および再生可能エネルギーについて、EUは自ら設定した2020年の目標を達成する見込みである。

(2) この動きをさらに推進するべく、欧州委員会は本日、新たな「エネルギー同盟ツアー」(new Energy Union tour)の開始を発表。

(3) EU全体としては、エネルギー同盟の目標、特に2020年のエネルギー・気候に関する目標の達成に向けた進捗状況は良好である。最終エネルギー消費目標は既に達成しており、温室効果ガス排出についても同様である。

(4) 2015年のEUの温室効果排出量は、1990年比で22%少なかった。再生可能エネルギーの分野においても、2014年のデータによれば、EUの総最終エネルギー消費の16%が再生可能エネルギーであった。

(5) もう一つ重要な傾向として、EUは引き続き、経済成長と温室効果ガス排出削減を切り離すことに成功しつつある。1990年から2015年までの間にEUの合計国民総生産 (GDP)は5割伸び、その間に総排出は22%減少した。

資料: 2017年2月、European External Action Service (EEAS、欧州対外行動局)

1. 極北GIFSN東西グリッド(仮称)について

EUの優先的な7エネルギー回廊と意義

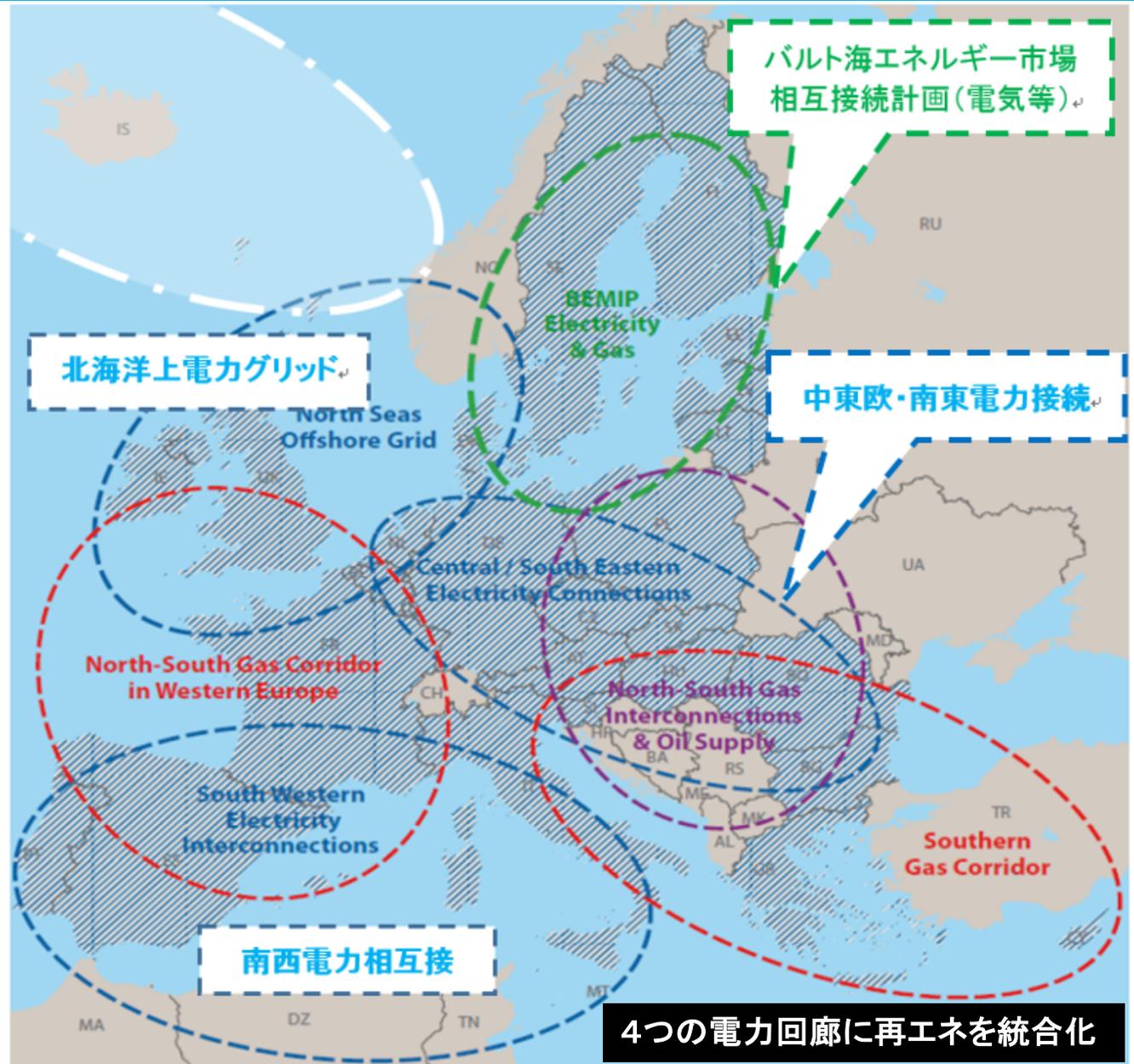


出所: Google Mapを下地に筆者作成、2016.

CEF: Connecting Europe Facility

PCI: Projects of common interest

TYNDP: Ten-Year Network Development Plan



4つの電力回廊に再エネを統合化

注: 灰色斜線部分はスマートグリッド、地図内白線楕円は筆者加筆。
 出所: [EU Energy2020], priorities for 2020 and beyond — A Blueprint for an integrated European energy network' (COM.2010) 677 final (2010)、EU.

エネルギーインフラ整備構想における6つの優先課題の概要

優先課題	インフラ整備を推進するエネルギー回廊およびその他施策	
短期優先課題 ①2020年の目標に適切な欧州の電力グリッド	北海洋上電力グリッド North Seas Offshore Grid	<ul style="list-style-type: none"> ■ 北海・周辺海域における洋上風力発電能力を、北欧・中欧の電力消費の中心地やアルプス地方と北欧諸国の電力貯蔵地に接続・統合
	南西電力相互接続 South Western Electricity Interconnections	<ul style="list-style-type: none"> ■ 南西欧州（イベリア半島、フランスなど）で発電された再生可能エネルギー（風力、太陽、水力）電力を北欧と中欧に輸送するための相互接続 <ul style="list-style-type: none"> ■ 北アフリカにおける再生可能エネルギー資源と、北アフリカと欧州の間の既存インフラも活用
	中東欧・南東欧電力接続 Central/South Eastern Electricity Connection	<ul style="list-style-type: none"> ■ 中東欧・南東欧における地域電力網の接続を強化させ、市場統合と再生可能エネルギーのグリッドへの統合を支援 <ul style="list-style-type: none"> ■ 貯蔵施設と人工エネルギー島への接続含む
	バルト海エネルギー市場相互接続計画の完了 Baltic Energy Market Interconnection Plan (BEMIP)	<ul style="list-style-type: none"> ■ 下記の3点により欧州市場の統合を図る <ul style="list-style-type: none"> ■ バルト諸国内のエネルギーネットワーク強化 ■ バルト3国のエネルギー市場とフィンランド、スウェーデン、ポーランドの相互接続強化 ■ ポーランド国内エネルギーネットワークとその東西相互接続を強化
②～④	ガス、原油。スマートグリッドの展開	
長期優先課題 ⑤欧州電力ハイウェイ European Electricity Highways EEH	<ul style="list-style-type: none"> ■ 北海、バルト海の風力発電や、南欧、北アフリカの太陽エネルギー発電により生産された余剰電力を、北欧諸国とアルプスの電力貯蔵施設に接続し、大規模な電力消費地である中欧に輸送 <ul style="list-style-type: none"> ■ 20年から電力ハイウェイを部分的に稼働させる目標 ■ 電力規制当局のフォーラム「フローレンス・フォーラム」がモジュール開発計画のフィージビリティを研究 <ul style="list-style-type: none"> ■ 潮力・波力などの発電技術への応用も研究 	
	⑥欧州CO2輸送網 <ul style="list-style-type: none"> ■ 将来的なCO2輸送網の技術的、実地的な取り決め準備に2020年から着手 	

図一 ヨーロッパ高圧電力網のアップグレード(2030)



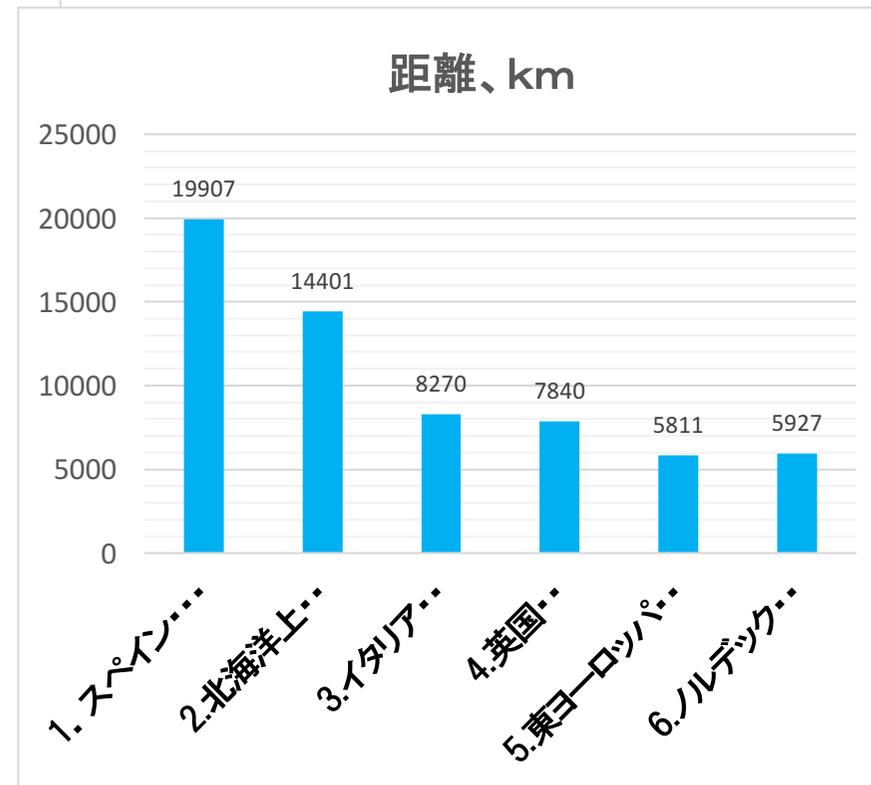
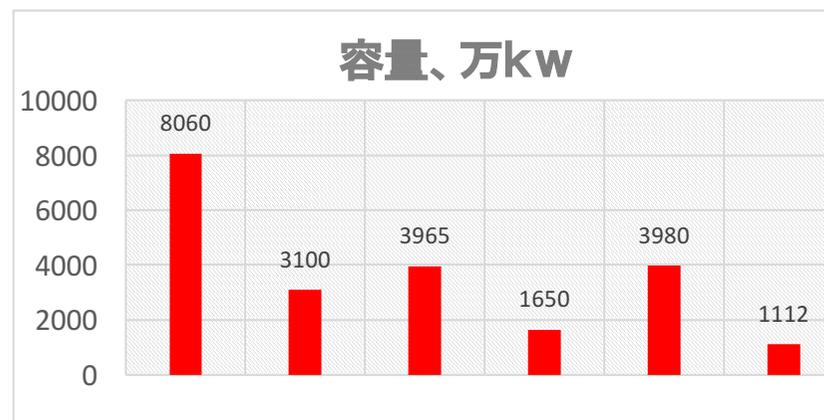
■ EU大の強化・拡充・……

左図はEntso-eの対象地域内の国際相互連携ネットワーク、欧州電力網である。アップグレードが必要とされる位置(赤色)を示している。対象のすべてがHVDCである(2030)。

このデータは、「EUROPEAN GRID STUDY 2030/2050」、Thomas Ackermann,(2011.1)等による。

主要なアップグレード地域(基本シナリオ2030)

必要なアップグレード		
	容量 (万kw)	距離 (Km)
1. スペイン・仏・欧州中央	8060	19907
・スペイン国内	1000	2730
・スペイン-フランスNTC	1955	6546
・スペイン-フランス回廊(仏国内)	2625	5849
・フランス他	2480	4782
2. 北海洋上グリッド	3100	14401
・洋上グリッド	1650	7250
・陸上グリッド	1450	7151
3. イタリア-欧州中央	3965	8270
・イタリア国内	1620	4529
・イタリア-フランスNTC	800	1259
・イタリア-欧州中央回廊 (スイス・オーストリア経由)	1545	2482
4. 英国	1650	7840
・英国内	700	1850
・英国-欧州中央NTC	600	865
・英国-ノルウェーNTC	350	5125
5. 東ヨーロッパ	3980	5811
6. ノルデック諸国	1112	5927



総計 2億1867万KW 6万2156km

基本シナリオ/最適シナリオのアップグレード概要 (2010年量と比較)

	アップグレード(2010年比較)				-アップグレード-	
	容量(万 kw)		距離(km)		総コスト(10億ユーロ)	
	HVAC	HVDC	HVAC	HVDC	HVAC+ 地中 HVDC	HVAC+ 架空 HVDC
①基本シナリオ 2030	20400	5800	44731	25841	70.34	50.86
②最適シナリオ	25800	8600	60794	38678	98.32	69.98
②-①最適化増分	5400	2800	16063	12837	27.98	19.12

資料：Thomas Ackermann 等, European Grid Study 2030/2050(2011)、energetische Netze GmbH, Germany

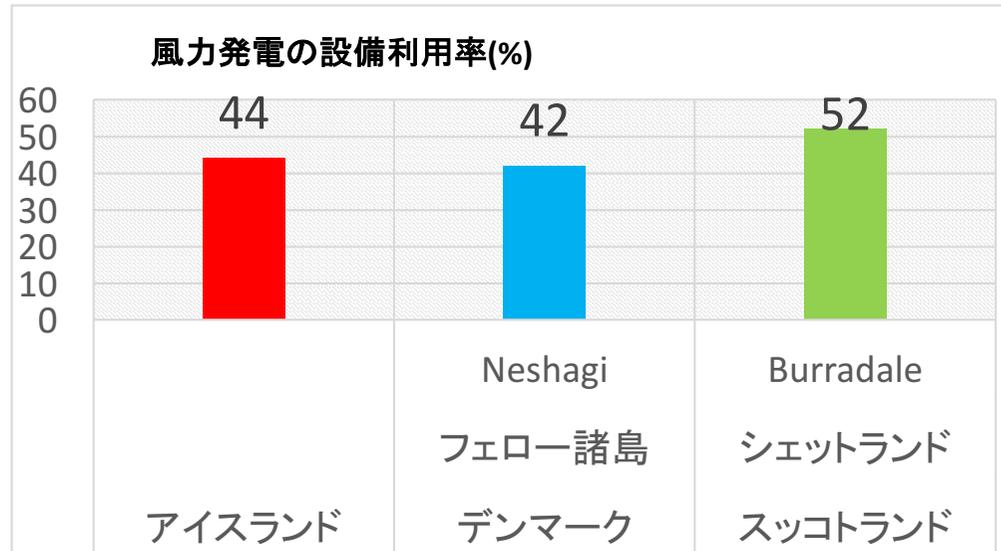
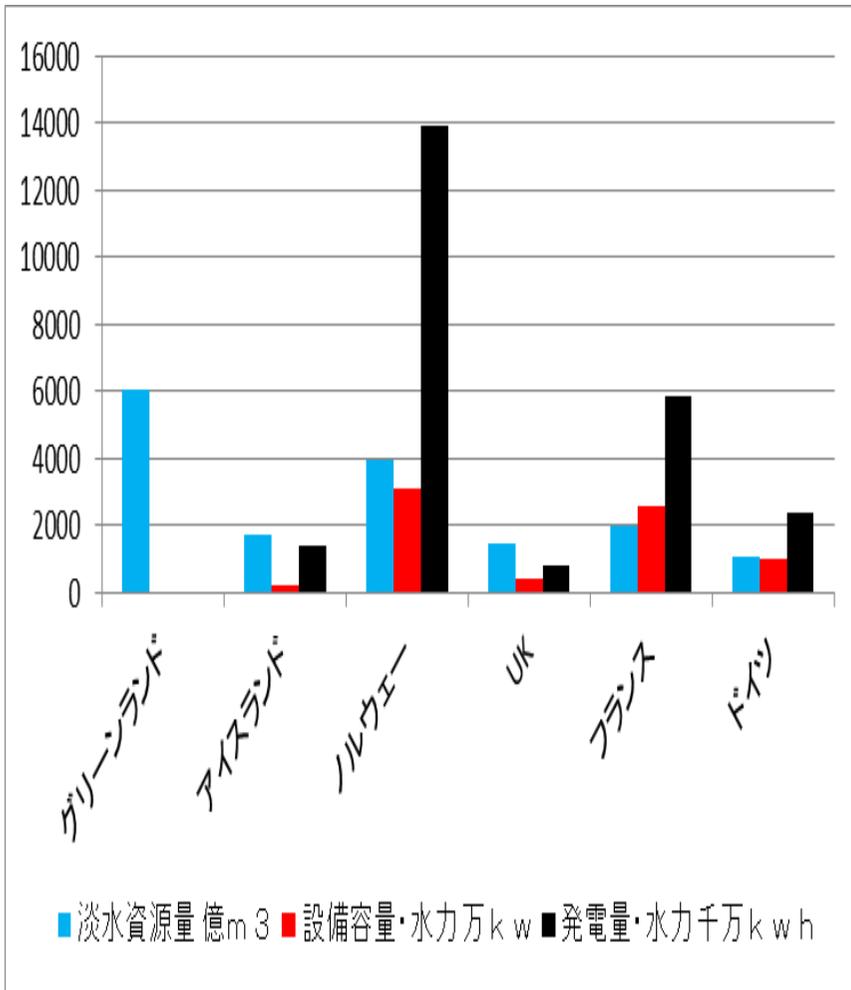
最適シナリオ: HVAC+地中HVDC
 983億2000万ユーロ × 140円
 = **13兆7648億円**

グリーンランド～ノルウェーの“極北空白域”の開発ポテンシャル

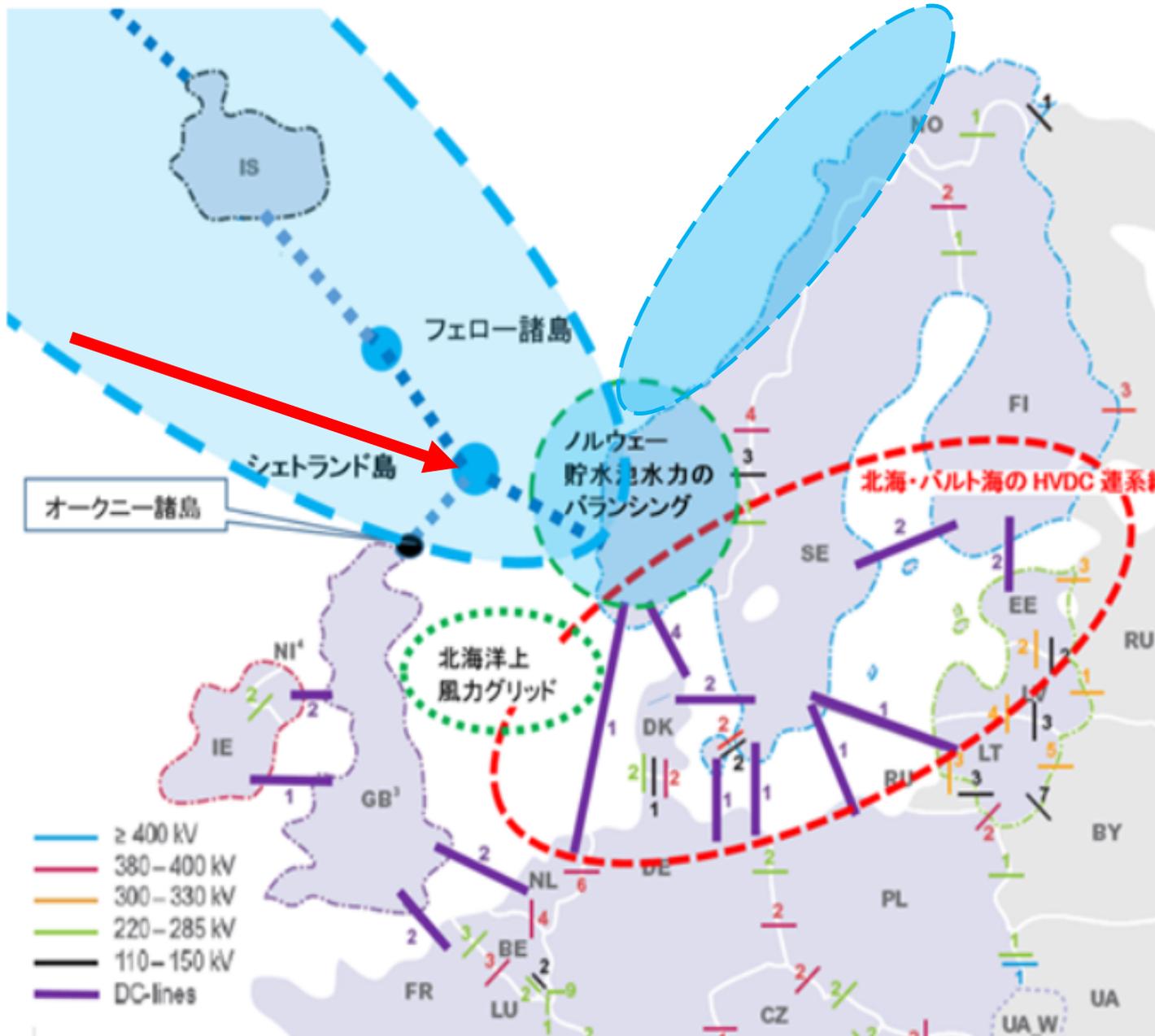
水力発電の柔軟性と電力貯蔵等の役割が増々重要

膨大な”水資源”が存在する
“極北”空白域

風力の設備利用率40%を超える

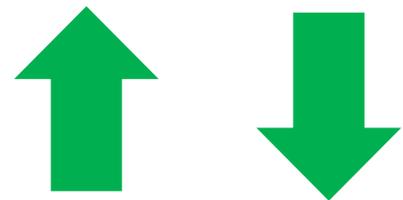


図一 ノルウェーやシェットランド島(→)のハブ化とGIFSN東西ベルト



GIFSN東西ベルト
の未来可能性

アイスランドの発
電事業者
Landsvirkjun、
TSOのLandsnet
のIceLink事業



ノルウェーの
発電事業者
Statkraft社・グ
ループと
TSOのStatnett社

資料:Entso-eの基本資料に筆者関係分を記載・描画、2016.

フェロー諸島
(デンマーク領)

214 IceLink

シェットランド島

294

Maali 国際連系線

南ノルウェーの水
力ポテンシャル
(アップグレード)

スコットランド

HVDC:計画

北海洋上電力
グリッド
North Sea
Countries Offshore
Grid *Initiative*
(NSCOGI)

PCIに基づく「TYNDP16」に掲載された国際連系線 IceLink プロジェクト

国境	Index	名前	プロジェクトの概要	送電容量	分類	事業者
Iceland - Great Britain	2 1 4	Interco Iceland -UK	アイスランド・英国間の国際連系線(海底ケーブル)。80~120万kw・直流・1000km超。99.98%は再エネ発電、アイスランド水力発電の高い柔軟性により急成長する英国の風力発電の間欠性を理想的に対応。	100万KW。 2030年に 運開予定	Future Project 注)	LANDSNET (NGIHL)

注) 中期、長期、未来の3分類。PCI(Project of Common Interest), TYNDP16(Ten Year Network Development Project 2016)
資料: entso-e(2016), TYNDP2016 Projects matching EC draft guidelines より作成。

■ 294-Maaliプロジェクト PCIに基づく「TYNDP2016」に掲載された国際連系線

国境間	TYNDP2016 プロジェクト・Index	プロジェクト名	プロジェクトの概要	送電容量	分類	事業者
Shetland - Norway	294 投資ID (1356)	Maali	<ul style="list-style-type: none"> 英国スコットランドのシェットランド島とノルウェー(Hordaland)間の海底国際連系線+陸上部分(地下式) 英国National GridとノルウェーのStatnett社間のネットワーク(HVDC) substation1:Kergord(Shetland) substation2:near Bergen-Mongstad, or Karsto-Blafalli 	60万kw	<ul style="list-style-type: none"> Futureプロジェクト 2023年運開予定 	<ul style="list-style-type: none"> Element Power社 ※ Viking Windfarm Shetland and HVDC to Scotland

資料: TYNDP 2016 list of projects for assessment - entso-e

2. ノルウェーとグリーン・バッテリー議論



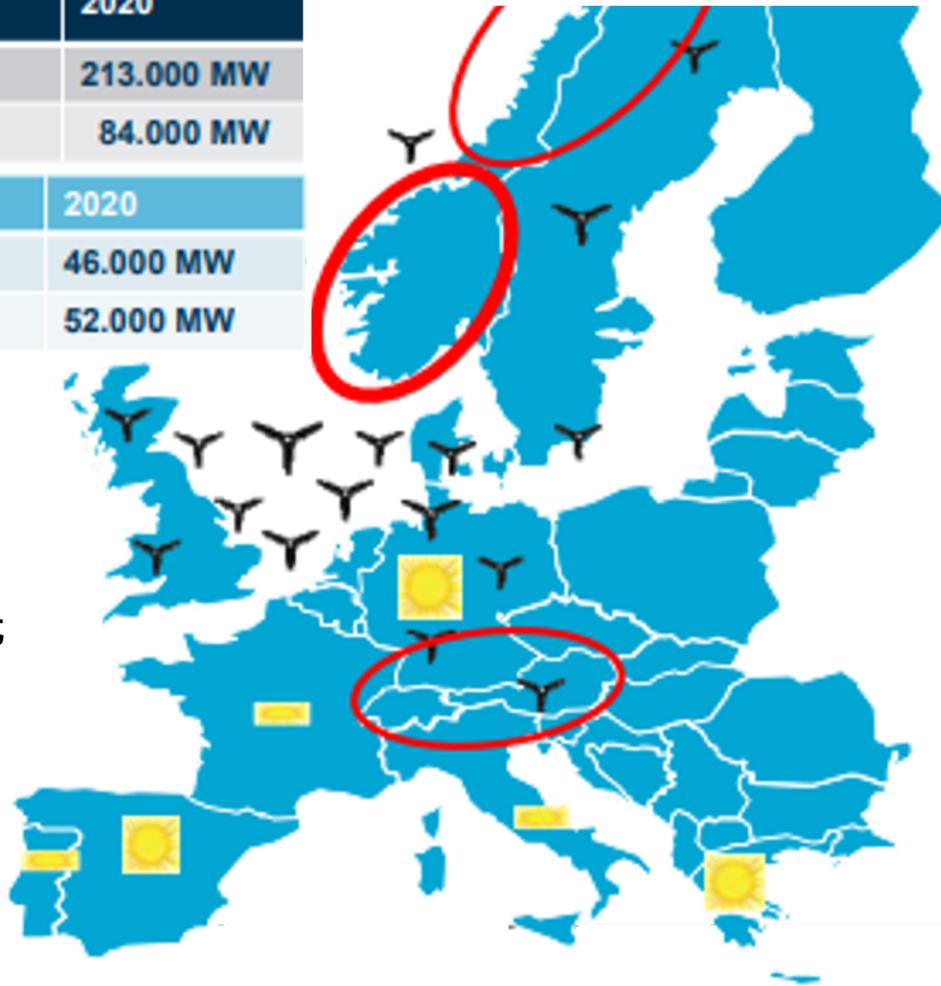
- ・コントラバーシヤルな問題
多くの研究機関、専門家・
学者など多くの論評、論文等
- ・ノルウェーへの大きな期待
- ・←左図
バッテリー機能と可能性、
国際連系線による相互融通
など

資料: CEDREN(2016)、Design of Future Pumped Storage Hydropower in Norway。
CEDREN: Center for Environmental Design of Renewable Energy

図- 自然変動電源と大量導入と統合化！
→必要な欧州大のマネジメント

EU-27	2010	2020
Wind	85.000 MW	213.000 MW
Solar (PV)	26.000 MW	84.000 MW

Germany	2010	2020
Wind	27.000 MW	46.000 MW
Solar (PV)	16.000 MW	52.000 MW



未来の大規模な自然変動電源のヨーロッパ電力市場への統合化には、なるべく発電抑制を回避する電力ストレージなどの対応が必要である。

今日、蓄電技術を比較すると水力(PSP)は、優れている。

EU計:297000MW



膨大な風力、太陽光発電の導入と統合化

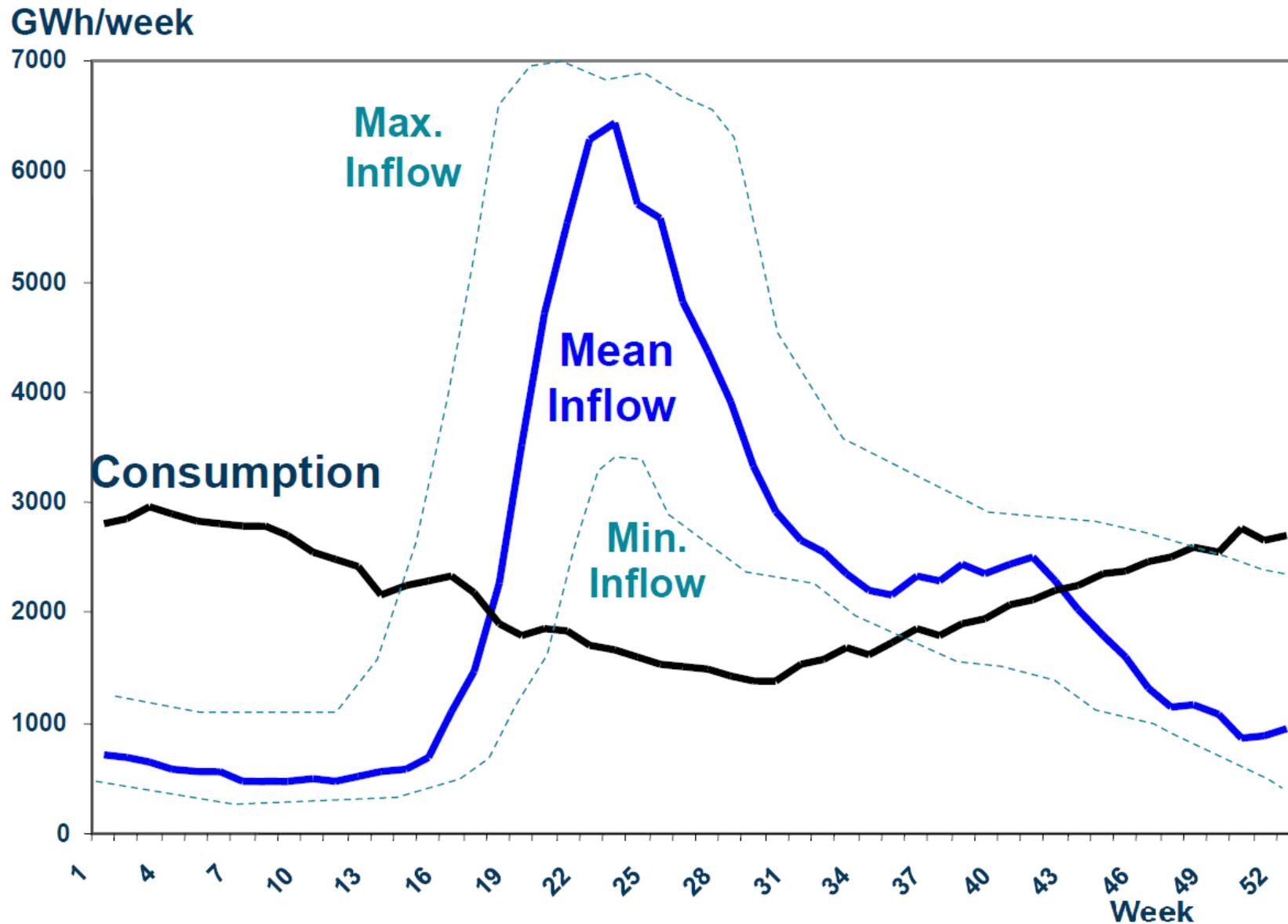


2億9700万KW

約 **3億** KW

資料: EEA Report on NREAPs 2011,他に筆者加筆

リザーバー(HSPP)マネジメント・・・水力を巧みに使う挑戦



資料:ノルウェー政府関係数値表より

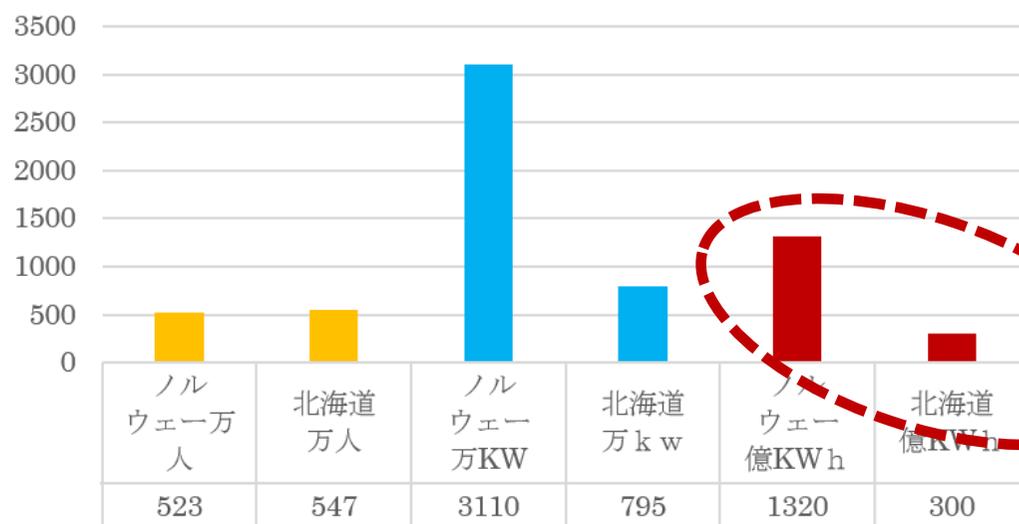
表 全国 1500ヶ所を超えるが約80%は1万kw以下の水力発電規模

設備規模	力所数		A 設備容量・万kw		B 発電量・億 kwh		設備利用率 ρ	
0.1kw以下	561	1175	17.6	216.4	7.6	92.6	49.3	
0.1～1万kw	614	(77.8)	206.7	(7.2)	85.0	(7.0)	46.9	47.1%
1万～10万kw	255	(16.9)	955.3	(30.7)	431.6	(32.7)		51.6
10万 kw 以上	80	(5.3)	1929.9	(62.1)	<u>796.6</u>	(60.3)		47.1
(内揚水)		(26)			-1.6			
合計	1510 (100%)		3110万 kw		1320 億 kwh		48.5	

注1)設備利用率 ρ = (B*10000)/(A*24*365)にて筆者計算作成、注2)揚水設備容量は約100万kwで利用は季節変動利用が主体。

資料:FACTS, Energy and Water Resources in Norway,2015、Norwegian Ministry of Petroleum and Energy,2015 等に筆者修正加筆作成。

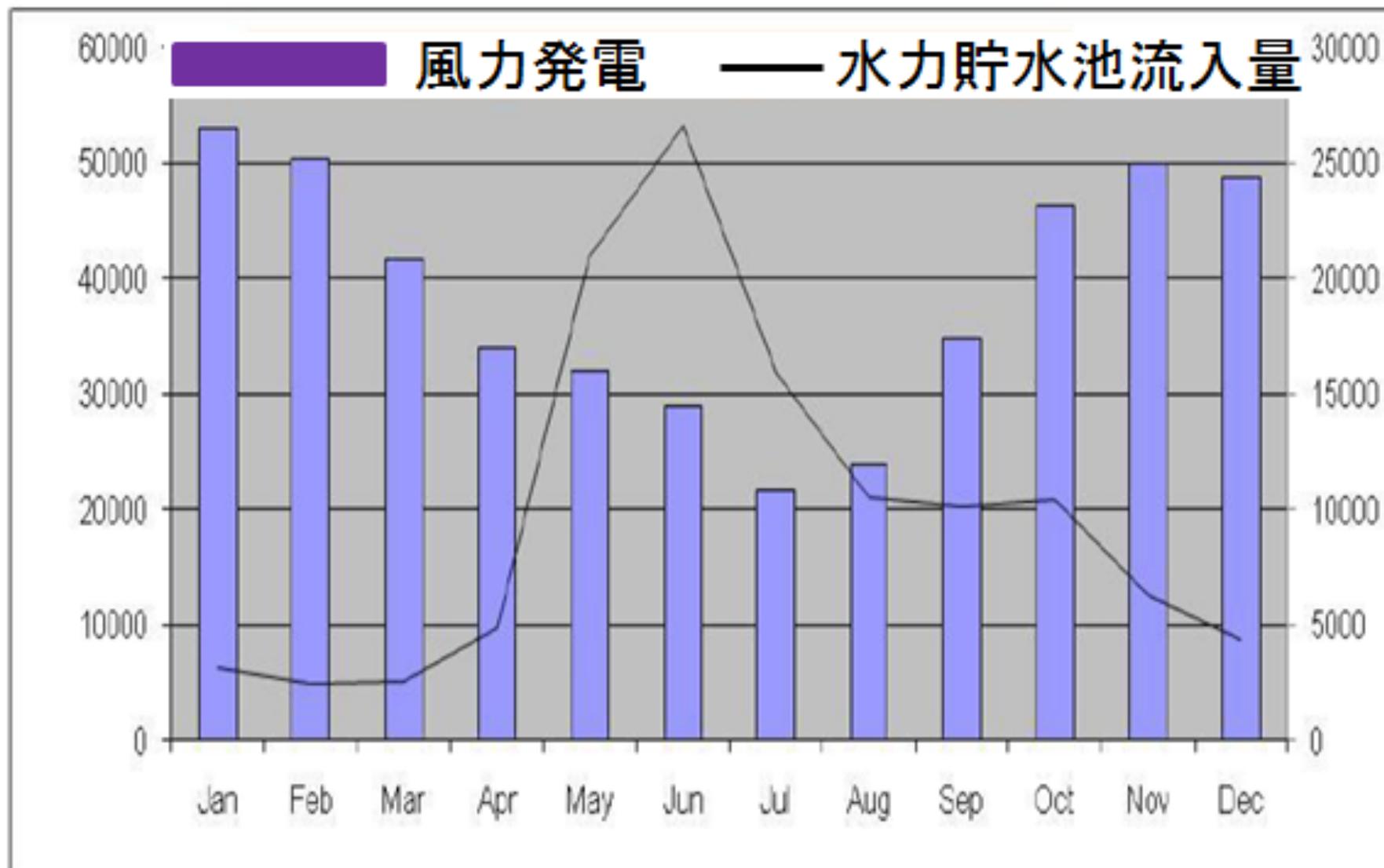
3指標の比較
人口・電力設備量・発電量



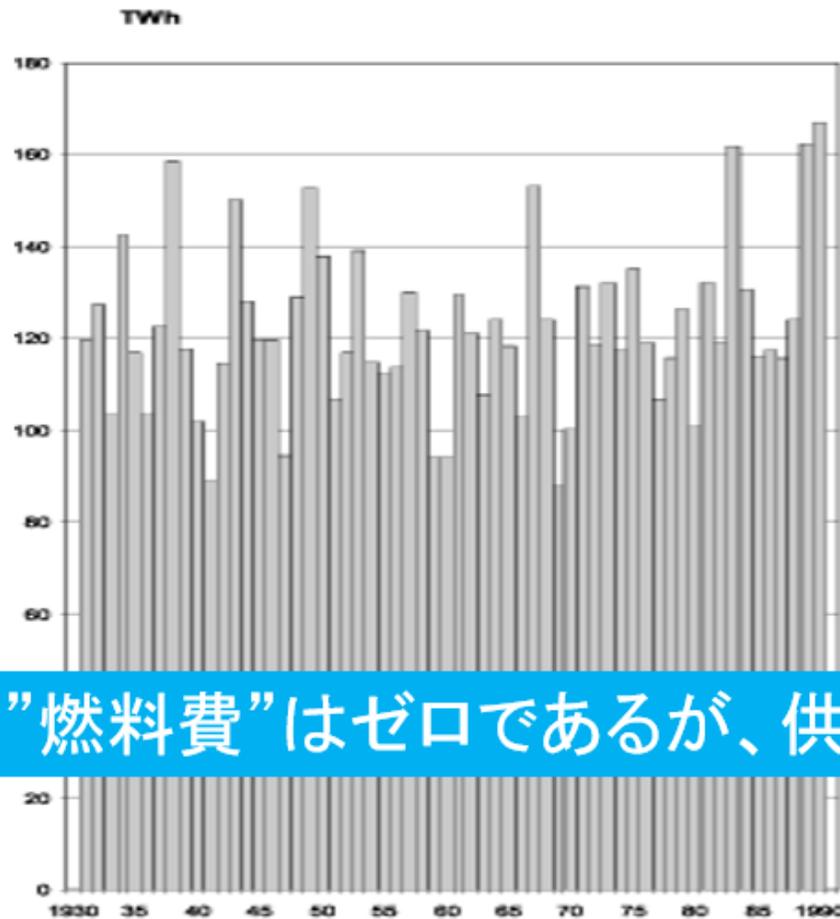
発電の99%は水力

同じ程度の人口であるが、北海道より4.4倍の消費

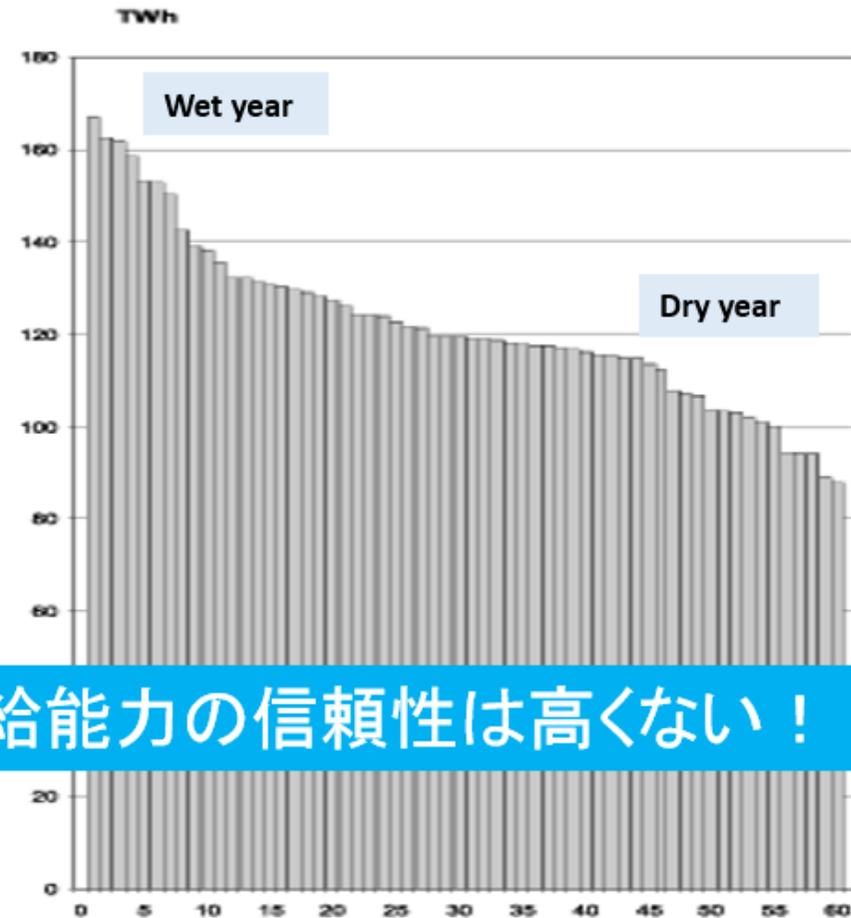
図一 マッチング？ … 風力と水力との関係



インフローの年間変動と発電



60年間



並び替え

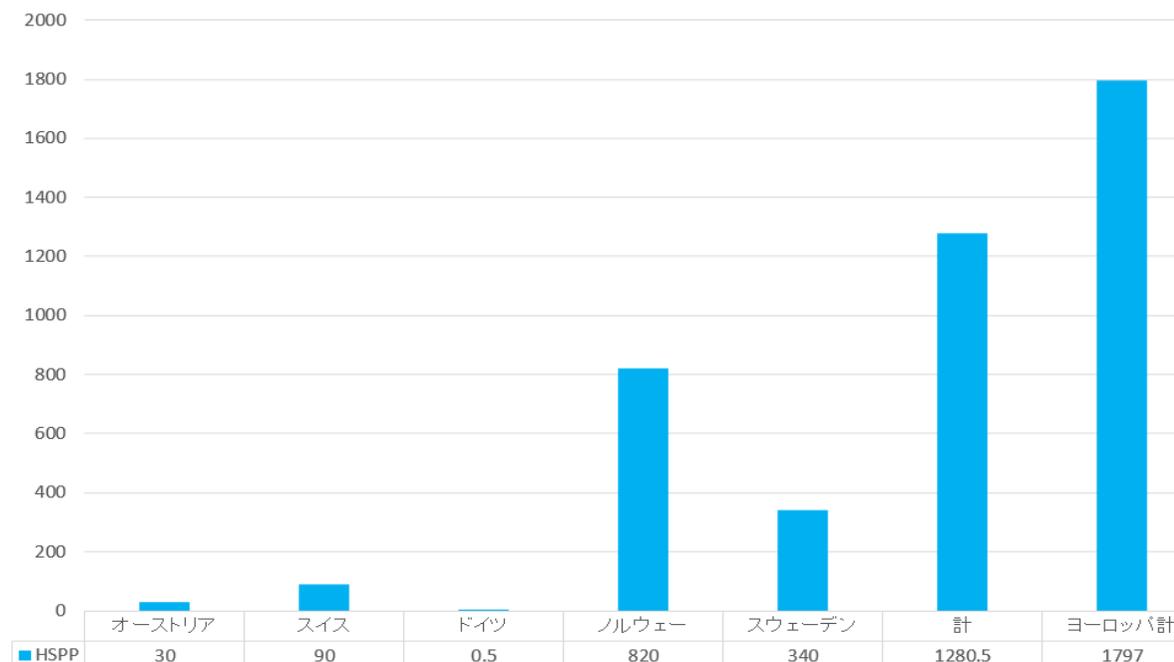
”燃料費”はゼロであるが、供給能力の信頼性は高くない！

表- 水力発電方式によるノルウェーの発電容量、発電量

水力発電(タイプ)	発電容量(万KW)	発電量(億KWh)
Run-of-river 型	625.5 (20.2) * *	
リザーブ(HSPP)型	2340.5 (75.5) *	850 (72.7) * *
PSPP型	134.4 (4.3) *	
総合計	<u>3100.4</u> (100.0)	1169.46 (100.0) *

注) *はEurostat(2010)、**はSINTEF(2010)より。資料:ノルウェー政府関係資料等より筆者作成

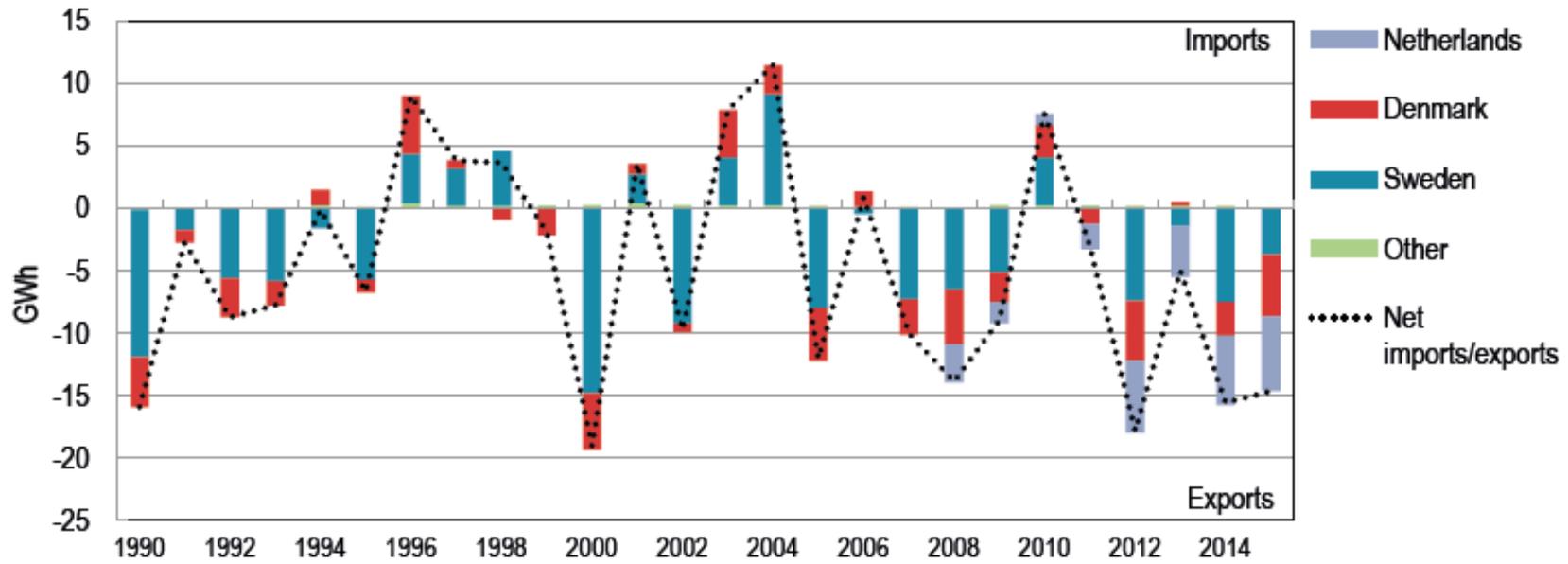
5ヶ国の貯水池型水力発電施設
(HSPP,億Wh)



国内の70%超、
ヨーロッパの
約半分を占める
ノルウェーの
HSPP発電量850
億KWh

電力の純輸出	: 1990～2015	17年
電力の純輸入	: 1990～2015	7年
電力の輸出=輸入(同じ)		2年 26

Figure 6.6 Net imports and exports of electricity by country, 1990-2015



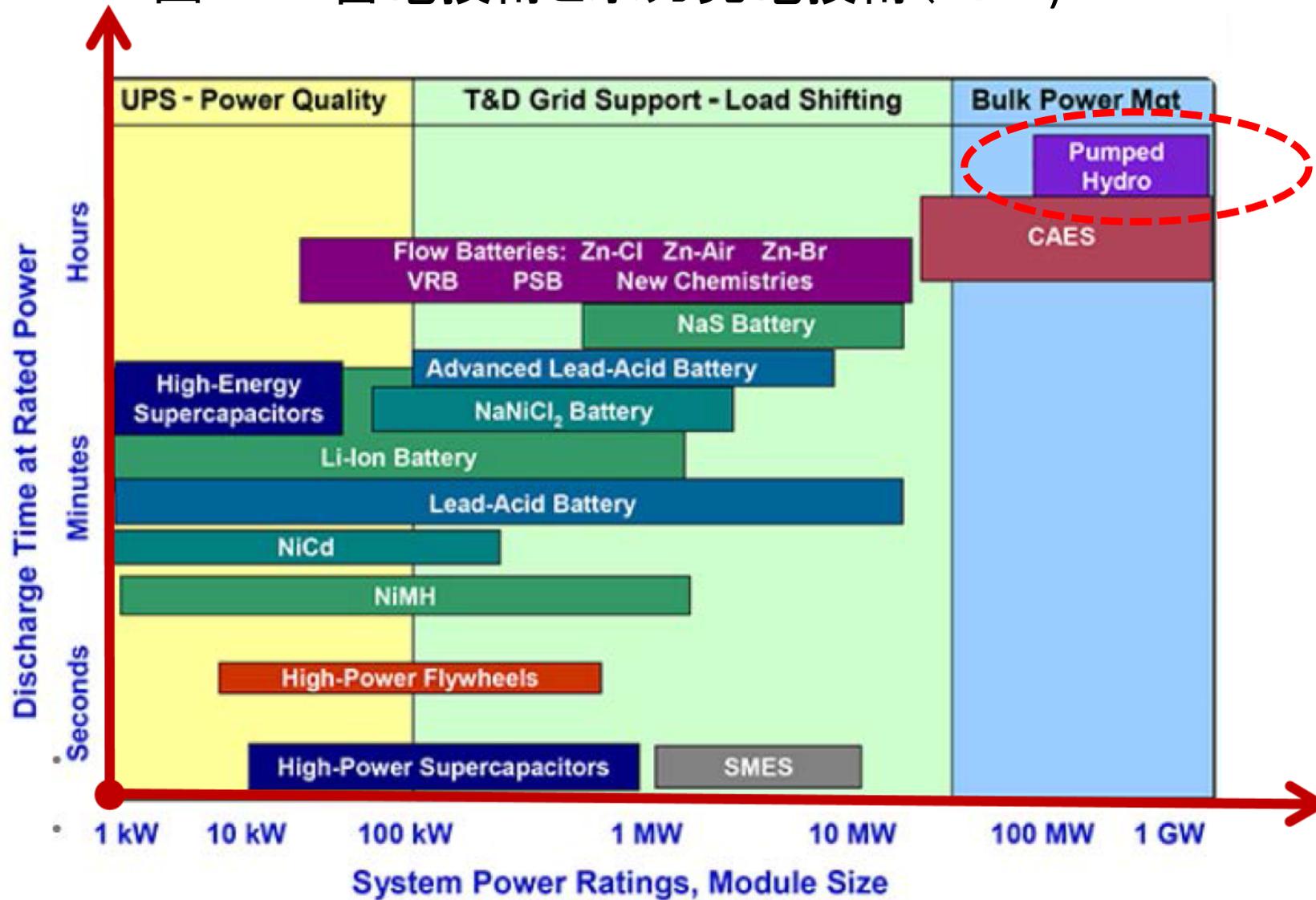
Note: Some countries can both import and export in one year. The chart shows the net imports and exports.

* Others includes Finland and Russia.

Source: IEA (2016a), *Electricity Information 2016*, www.iea.org/statistics/.

2008年の国際連系線の運用開始以降、オランダに輸出。
 2010年: 降水量は少なく、比較的寒冷な冬季 → 電気暖房使用拡大

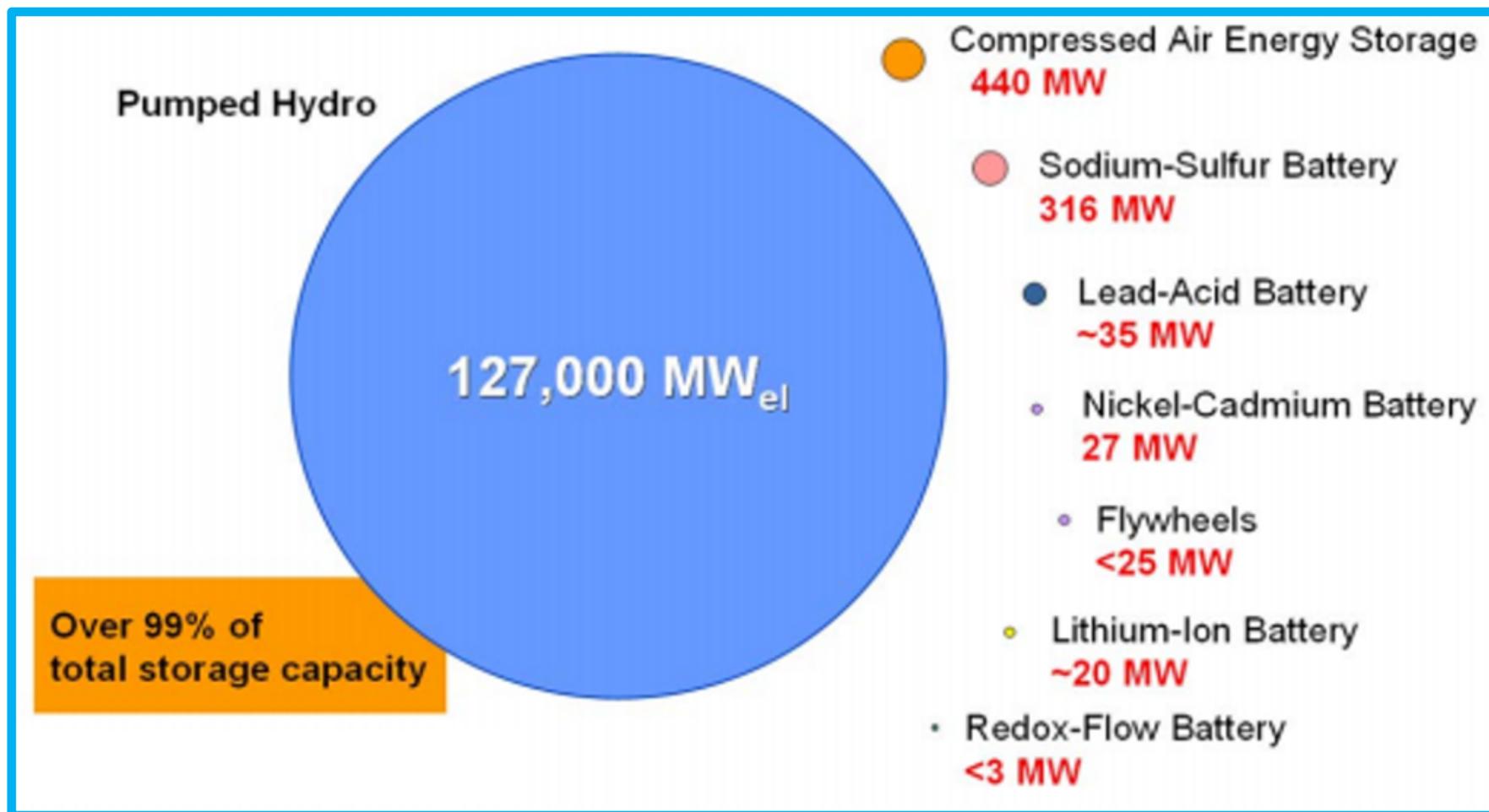
図一 蓄電技術と水力発電技術 (PSPP)



資料: Todd Heinrichs, "Energy and climate", 2013, Sandia National Laboratories

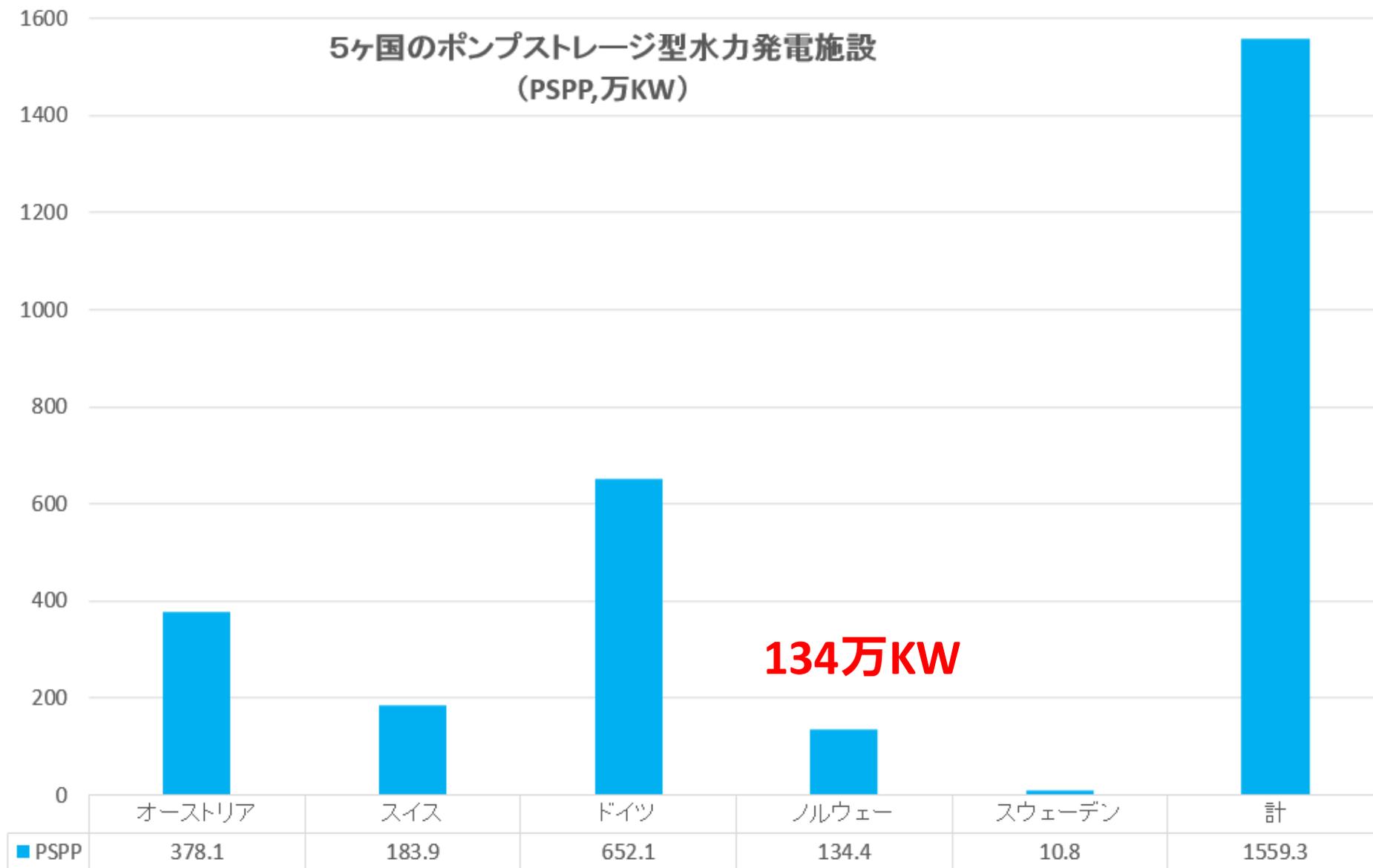
図一 世界の蓄電技術別の蓄電設備容量(MW)

< 99%超がPSPP >



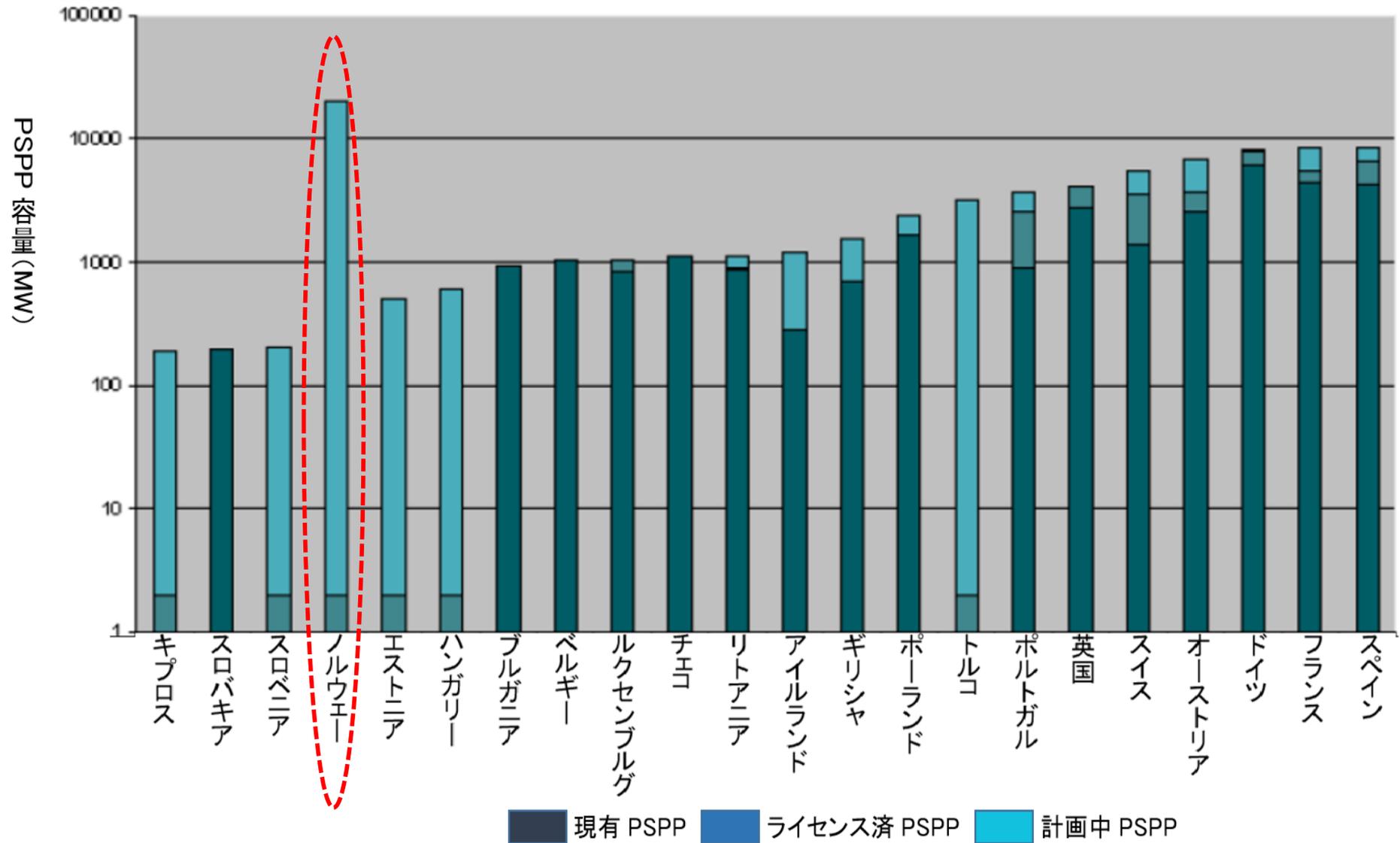
注) PSPP:Pumped Strage Power Plant
資料: Fraunhofer Institute, EPRI

ノルウェーのPSPPの設備容量は134万KW程度



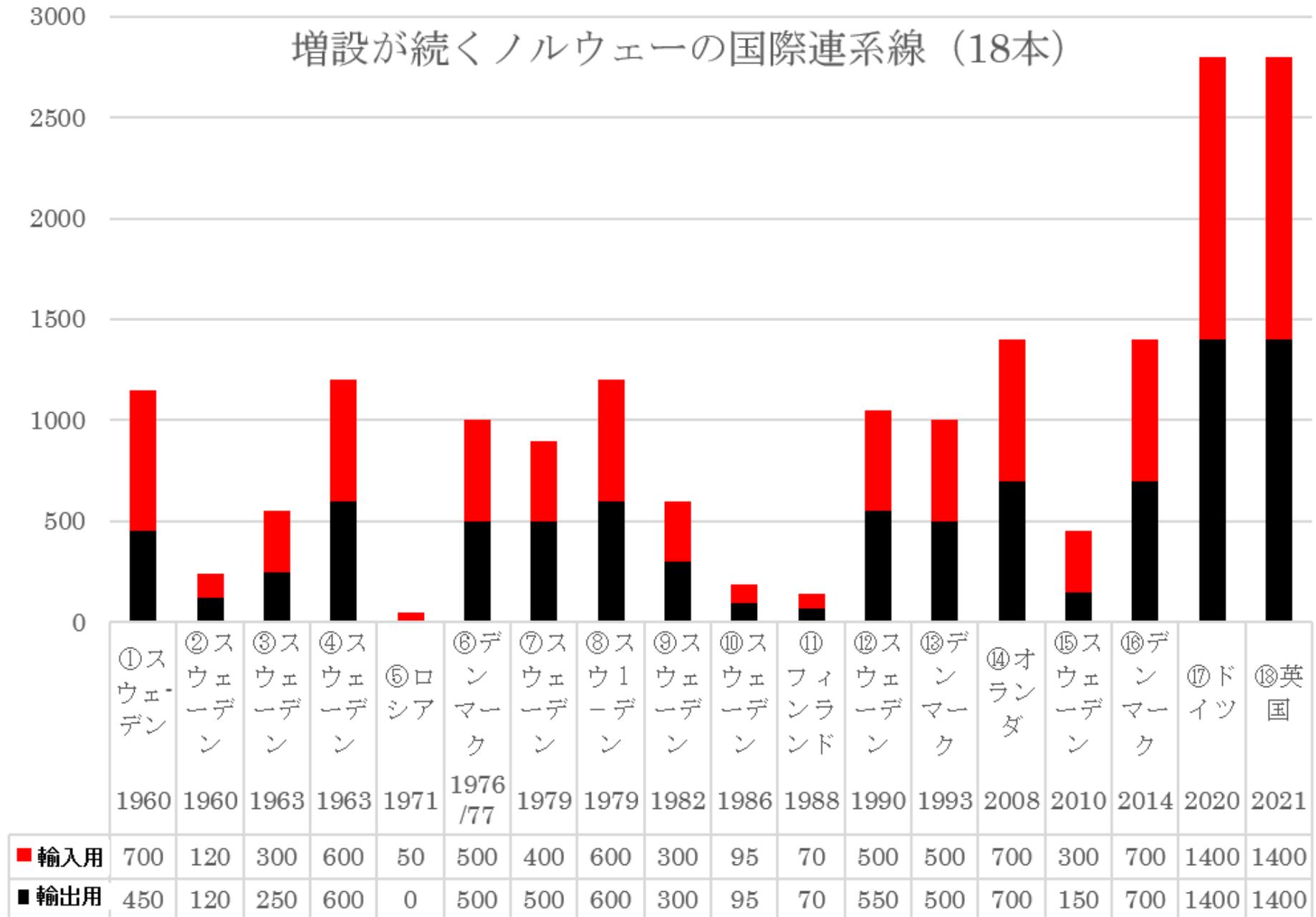
資料:最近のノルウェー政府関係省統計数値などより

図一 ノルウェーの「計画中PSPP」は”20000MW超”と大規模



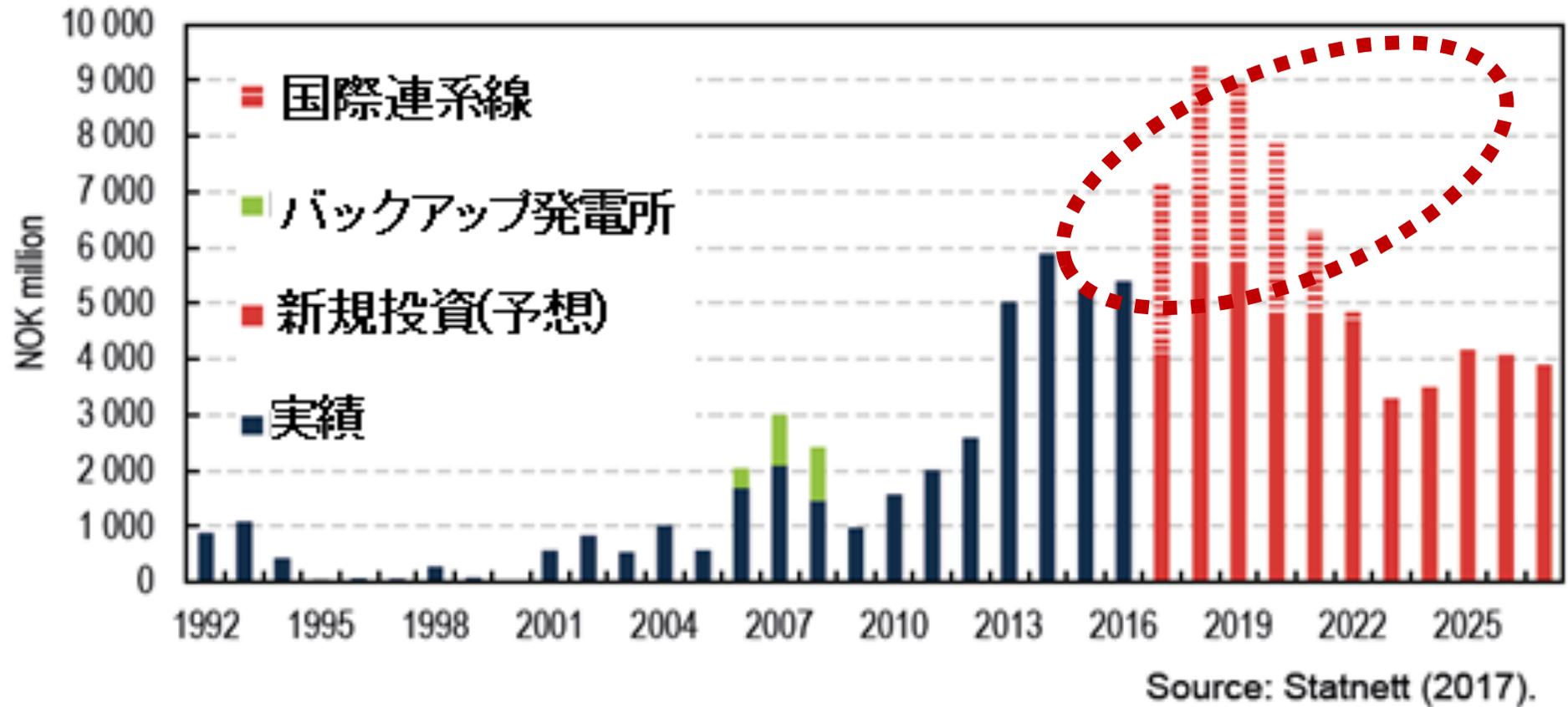
注)縦軸は対数尺度(要注意),ノルウェーは現有PSPPは僅少、水力はRun-of-River、HSPP、PSPPの3型式
 資料: EURELECTRIC(The Union of the Electricity Industry at Pan European level) 等資料より

増設が続くノルウェーの国際連系線（18本）



資料：IEAカントリーレポート数値より筆者作成(2017)

図一 送電線関係投資— 1992～2025年(NOK、million)



(1) “ヨーロッパのグリーン・バッテリー”への期待

- ・EU電力市場における再生可能エネルギーの大量導入
Energy Union－EREF/NSCOGI/IEA/EHI: European Hydropower Initiative/など
- ・2010年前後、EU指令とEECの議論、Statkraft社、Statnett社など
- ・EPの議員、HydroBalanceプロジェクト(CEDREN)一約4億円調査研究費
- ・否定的な新規立地とアップグレード構想
- ・ノルウェーの水力ポテンシャル等 → (2000万kw＋北ノルウェーのアセス中)
- ・デンマーク、ドイツの風力発電は、ノルウェーの水力の力が大きい
- ・国際連系線の展開→ノルウェー約1800万kw(2021年中) 国際連系率30%超
※entso-e 数値目標 2020年(15%)、2030年(20%)

(2) アップグレードの展開一種々の超えるべき課題

- ・反対運動、社会受容性 (例)過去にはアイスランドの大規模水力の運動
- ・架空送電線 送電塔、電柱などの増大に対する不快感など

(3) 政治的意思とアクションは！？ → 担当大臣の意思

- ・(議会)政策的要求は見えない

(4) 技術的改善策

- ・thermodynamicsとエアークッションサージチェンバーの技術開発

(※Norway de facto)

(5)ノルウェー国外からの風力発電のニーズは、敢えて言うと冬季期間
・ノルウェーの冬季期間は、暖房等に電力消費は増大し、リザーバーの水位は最大レベルから下がっている。即ち、「空のストレージ」が存在する。夏季の降雨期間に秋に向けて満水状態にする。冬季の国内の電力需要増に対応する。

(参考:筆者仮訳) EU指令にみるPSPP(ポンプストレージ水力発電)の位置づけ

・EUエネルギー指令において、PSPPを再生可能エネルギー資源とは考えていないが、この発電技術は自然変動電源の(送電と配電グリッドへと)統合化を促進する有効な方法、と指摘。ヨーロッパでは、2020年を目指して再生可能エネルギーの拡大を考えているが、PSPPは非常に競争的であり、大きな貢献が考えられる。

「DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009」。

・また、グリッド結合について規制関係で記述がある「EU Network Code」にも同様の内容が記述されている。「ENTSO-E: Network Code on Requirements for Grid Connection Applicable to All Generators, December 2015.」

・「Network Code on Demand Connection」にもポンプモードのみ供給時のPSPPシステムについて、上記同様の記述がある。

「ENTSO-E: Network Code on Demand Connection Applicable to All Generators, December 2015.」

ノルウェーにおけるPSPPのポテンシャル

未来のノルウェーのPSPP開発について

1. 大きな上池と下池を持つ現存する100以上の施設
2. 上池と下池を持った1億m³以上の現存の20以上の施設
3. 高品質の岩石は堅固なトンネル—費用効果を高めている
4. 100万KWから250万KW以上の多くのプロジェクトの可能性
5. 小さい環境インパクトを小さく ⇒ 但し、現存する貯水池のみの活用
6. 予備調査： 南ノルウェーに少なくとも2000万kwが開発の可能性
(現在、北ノルウェーで水力アセスが実行中)
7. (PSPPの)12プロジェクトの詳細な調査・研究が推進中
8. HydroPeakプロジェクト(調査研究)
9. HydroBalanceプロジェクト(調査研究:継続中)

(参考)

1. 現存するリザーバーのみを使用することになる
2. 開発計画は、延長距離の大変長いトンネル(5-50km)になる
3. トンネルと地下空間創出の費用が、通常太宗で50%超
4. 主としてトンネルや圧力シャフトも水漏れ防止無しの素掘工法を採用
5. 低速の水速度と低い摩擦損失
6. 除去岩石など隧道などからの大量の土砂処理

3. (ネガティブな)外部性効果と大転換期？へと動くEV

(1) WHOの指摘する大気汚染と隠された費用を持つ発電事業者

- ・年間300万人の死亡(内燃機関の排出インパクトは大きい)
- ・伝統的な発電事業者の“隠された費用” EXTERE → WHOによる発展
- ・英国等のICEから電気自動車への大転換

—2040年までに内燃機関の発売停止

(2) EV大量導入の時代と電力需要増 …… 電化率の増加

- ・IEAのWEOLレポート(2016)の指摘

(450シナリオ2°C未満)-7億1千500万台(2040年までに)

- ・EU各種シミュレーションによる将来電力需要
- ・EVの持つ先進的機能 V2X → 斬新なビジネスモデル

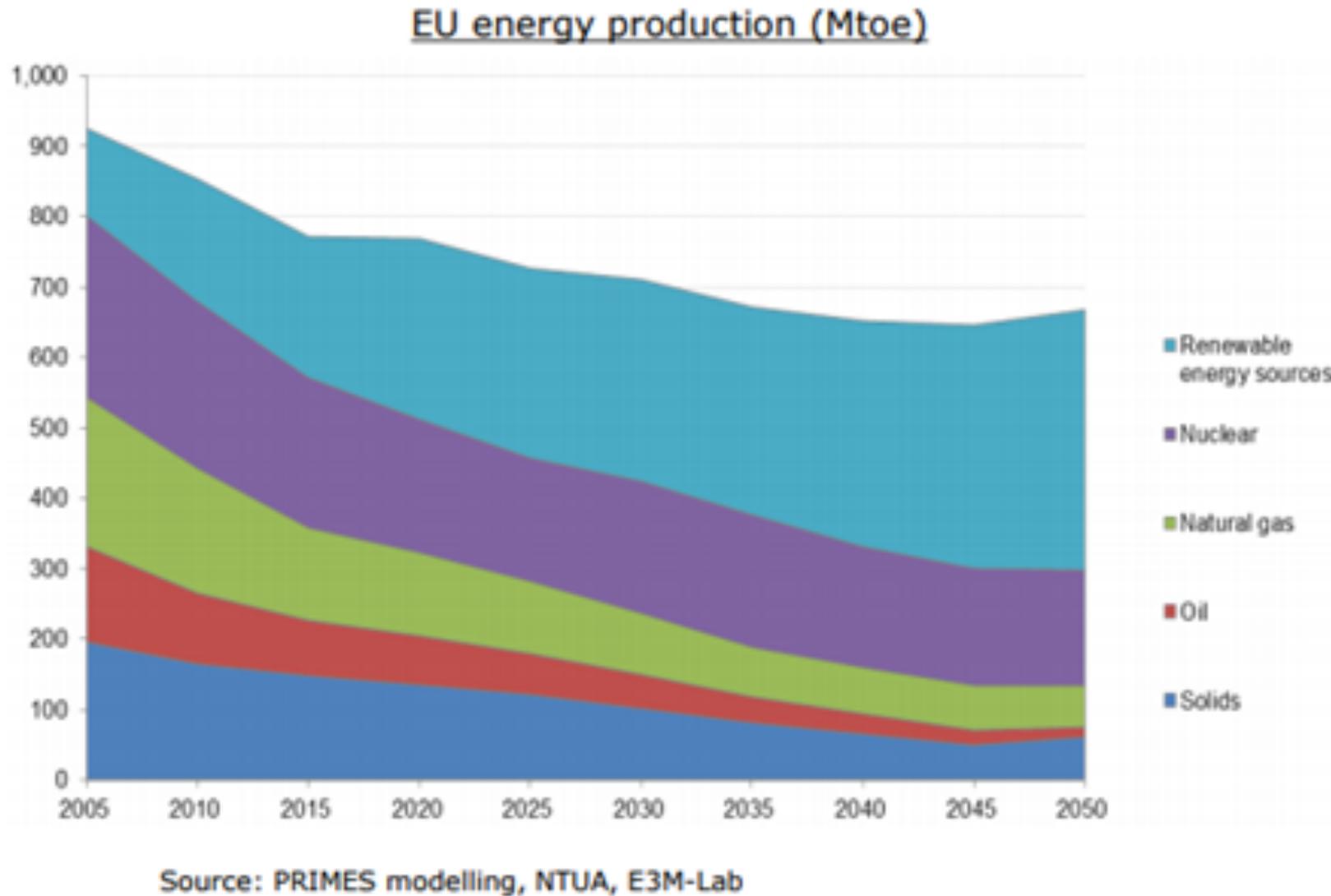
(3) 水力のグリーンバッテリーと“走るグリーンバッテリーEV”の持つ蓄電性

- ・ノルウェーのEV大導入プログラムの意味 → 電力需要の増大:約8TWh
- ・日産のEVは40KW(400km)であり英国でのスマートグリッドでは10KWを蓄電効果を考えている→ 普及拡大により“走る蓄電池—発電所”
英国のGreen Charge Networks社と提携。

■V2G:総創電量=英国内18,000台(電力連系接続)×10KW=18万KW

- ・仮に、1千万台の場合 → 10万kw相当 (それなりの水力に匹敵)
- ・EU大のEV普及 → 水力発電と競合か！ ※ガス対応？

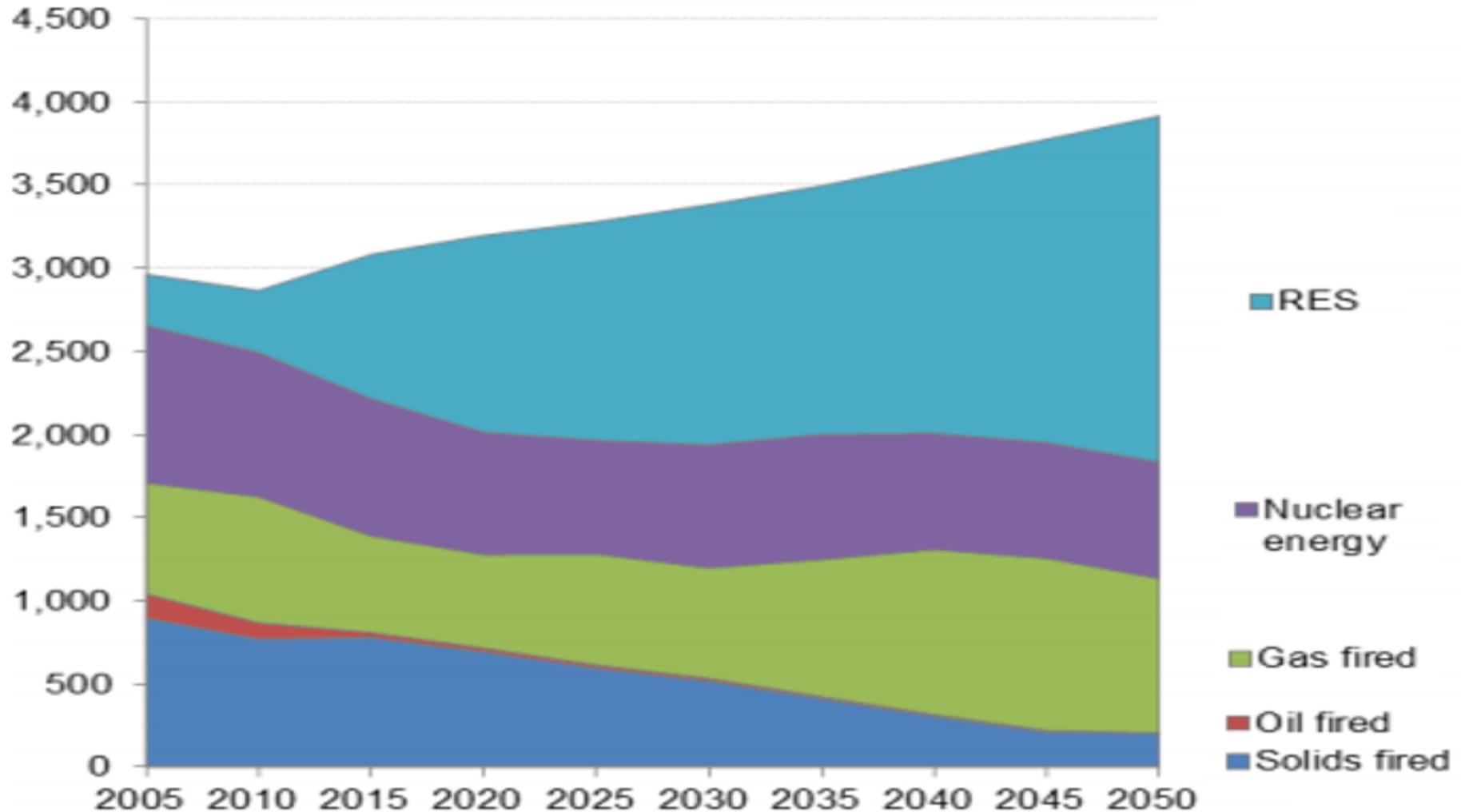
図一 減少続けるEU内化石燃料エネルギー生産と増加する再エネ



資料: EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050 Main results

図 EUの発電量の増加—急増する再生可能エネルギー

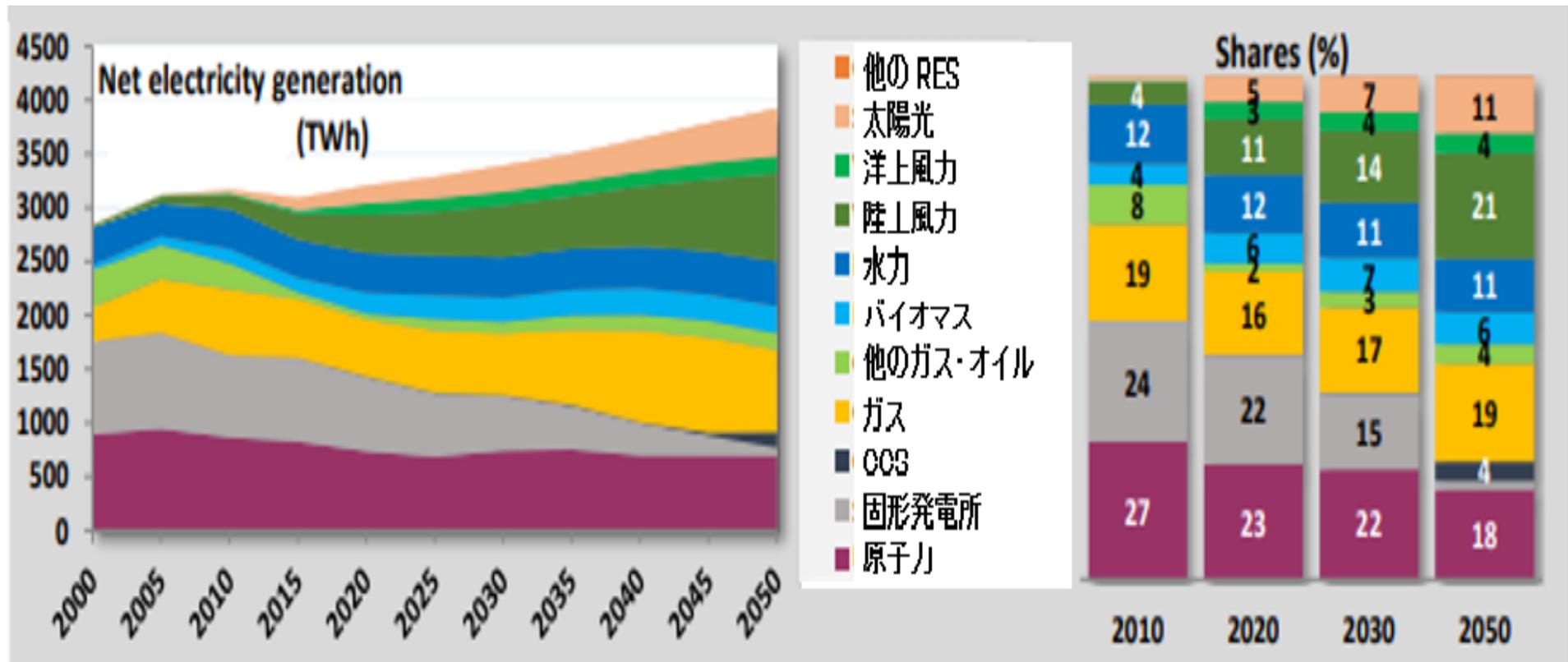
EU power generation (net) by fuel (Mtoe)



Source: PRIMES modelling, NTUA, E3M-Lab

資料 : EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050

図- 燃料別、発電技術別の発電量(TWh) : 2000年～2050年
 —2050年4000TWhへと増加する発電推定量—



資料: EU Reference Scenario 2016, Energy, Transport and GHG emissions

2040年全世界7千万台に迫るEVの大きな動き

図- 国際市場別販売台数の予測

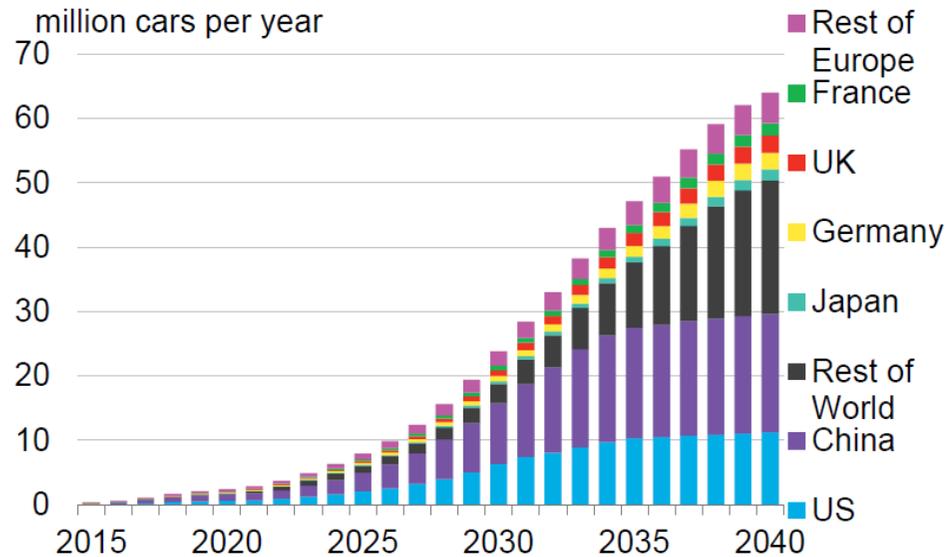
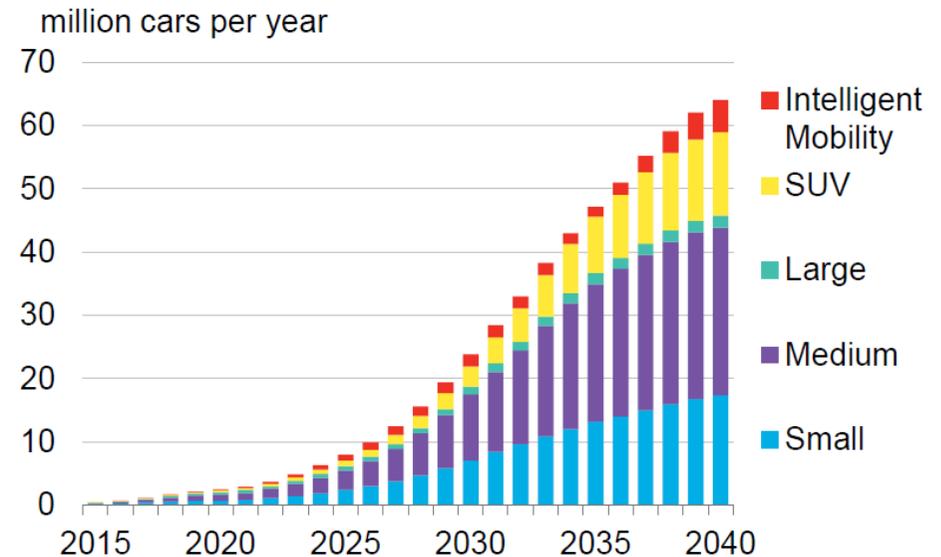


図- EVの車種別販売台数の予測



Source: Bloomberg New Energy Finance. For a detailed description of the 'intelligent mobility' segment, see the methodology.

大量の再エネの導入、統合化の問題



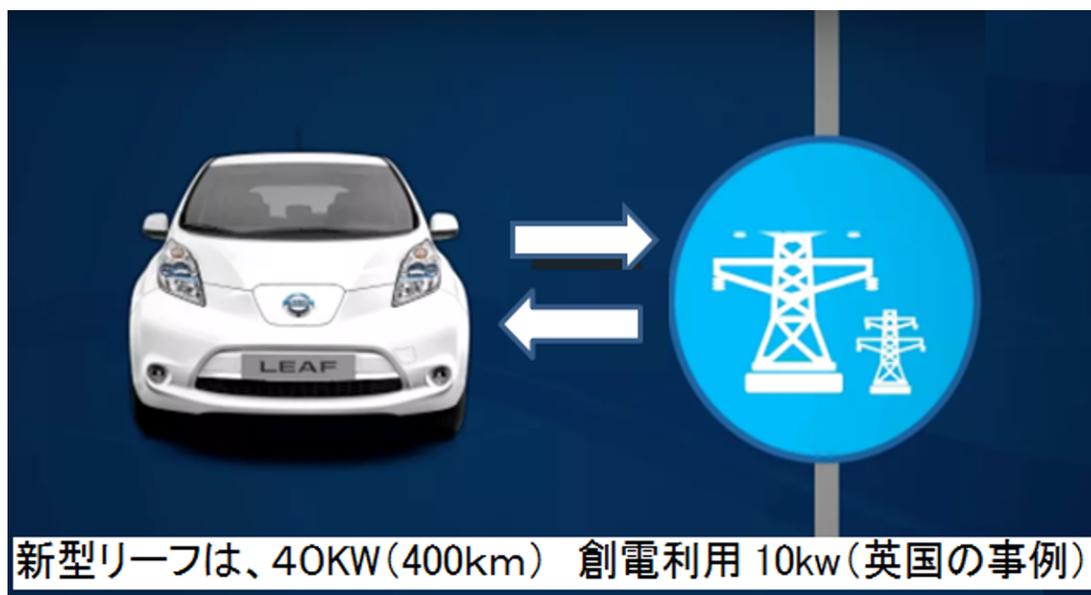
- グリーンバッテリー議論()
- 走るバッテリーEVのV2G議論
- EU大のガス網とその積極的活用 など

(参考): IEAのWEO2016報告
2040年までにEVの普及について、**7億数千万台**を示している。

表- V2Xの展開と特徴

V2X	アプリケーションの特徴
V2G (Vehicle-to-Grid)	<ul style="list-style-type: none"> ・V2H/V2Gは、電力需給のピークシフトや再生可能エネルギーの安定化、 ・電力事業者はピーク需要期間に消費者から電力を購入し、アンシラリーサービスを提供するEV容量を使用できる。
V2H (Vehicle-to-House)	<ul style="list-style-type: none"> ・V2H/V2Gは、電力需給のピークシフトや再生可能エネルギーの安定化 ・電力サービスの事故中、自家発電による再エネの増加として自家発電機としてのPEVの使用。
V2L (Vehicle-to-Load)	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔の事業地への電力供給や電力サービスができないところへのPEV蓄電の使用、 ・車両から電気製品等へ電力を直接供給するため、非常用電源、建設現場やキャンプ場
V2 (Vehicle-to- Vehicle)	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急時の他のPEVに電力を供給するPEV蓄電の使用

資料:IEAのHybrid&EV TCP(Technology Collaboration Programme)のTask28より筆者作成(2017.7)。
加藤修一(2017)、(京大再エネ:コラム)時代の先端をひた走りはじめ、進化する“動くバッテリー”



V2G

4.電力のオペレーション等の支援システム

4-1 計画数理の内容

計画	計	画	数	理
現象システム	ヒューリスティックな分析・予測手法—KJ法, デルファイ法 プレーンストーミング, 関連樹木法等 確率論 — 標本設計・実験計画法 記述統計 統計的推測 (推定, 検定) 統計的解析 分散分析 多変量解析 → 相関・回帰分析 待ち行列論 時系列解析 確率過程 → マルコフ連鎖 モデル解析 あいまい (ファジイ) 理論 グラフ理論 ネットワーク問題			品質管理 計量経済モデル システムダイナミクス 産業連関分析 在庫管理
	評価システム	数理計画 静的計画法 線形計画法 感度解析 パラメトリック・プログラミング 整数線形計画法 → 輸送問題 → 割当て問題 積替え問題 不確定性線形計画法 ファジイ線形計画法 非線形計画法 → 2次計画法 多目的計画法・目標計画法 ゲームの理論 動的計画法		

4-2 オペレーションズ・リサーチとノルウェーの支援システム

複雑なシステムの分析などにおける意思決定を支援し、また意思決定の根拠を他人に説明するためのツールである。計画、政策や運用支援の円滑な実行を特に求められる現場で希求されている。政府、軍隊、国際機関、企業、非営利法人など、さまざまな組織に意思決定のための数学的技術として使用。

ORの研究は、線形計画法 (linear programming)、動的計画法、順列組み合わせ、確率、最適化および待ち行列理論、微分方程式、線形代数学などの数学的研究を踏まえて現実の問題を数理モデルに置き換えて最適化を目指す分野である。最近では金融工学にも使われている。

政策、計画、また運用に関係する問題を一定の制約条件下の数理モデルにより、最適解を求め、意思決定を支援する情報を得ることが可能となる。最近では、コンピュータの発達によって、複雑な計算を実行する研究が多い。

ノルウェーは、一貫してORなどを駆使した計画・政策への支援、また電力市場における運用支援の場面で有効に使用しており、EMPS-モデルなど多くの支援システムの開発が進み、活用している。

4-3 計画数理とモデル開発 …… EMPSとReOpt

・EMPS /EFL' Multi-area Power-market Simulator

* EFL 1986年以来SINTEFの主要な機構

・開発機関: SINTEF (研究機関)

産業のためのエネルギーモデル開発、EMPSの最初のバージョンは1970年代に開発。以来、改善、新機能、他のモデルなど

・モデルのタイプ:

・電力市場の運用モデル/水力の詳細な表現—“COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS”の応用分野

・ノルウェーの水力発電分野にみる“Water値”の概念

・システムの最適化—社会経済的余剰の最大化

確率的な計算(SDP) → インフロー、気候変数(気温、)、風力
火力、水力、地域間の送電条件・需要、……など

・週単位のシミュレーション → 戦略、現実化

・出力結果 電力価格、エリア間の取引、各発電施設のの発電量など

・ユーザー志向のデータベース

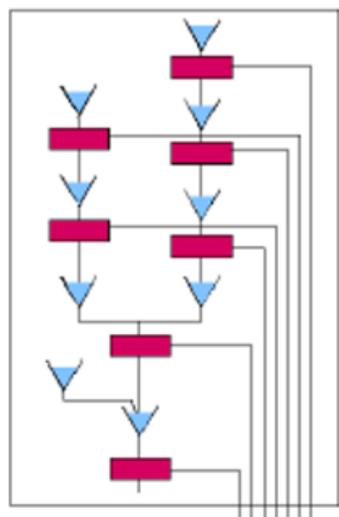
複数の地域、時間分解能/時間展望…週間単位で1年～5年の計画単位
コスト/容量

・ReOpt: EMPS を週間単位に再編・再構築したプロトタイプの拡張版支援システム

(A prototype model expansion for weekly re-optimization in EMPS simulations)

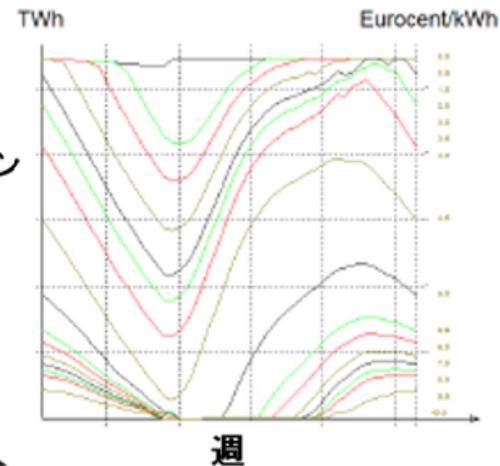
EMPS モデル

水力発電の詳細



アグリゲーション

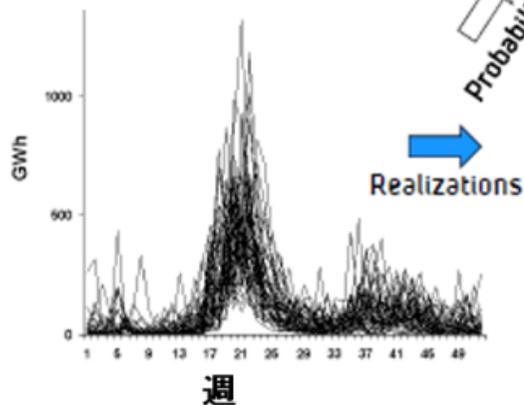
確率的 DP による計算



Detailed simulation

Water-values

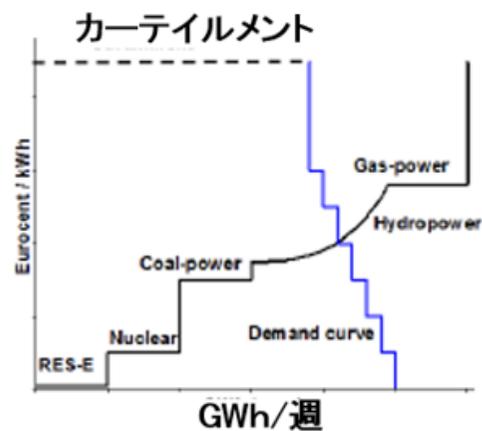
確率的気象データ



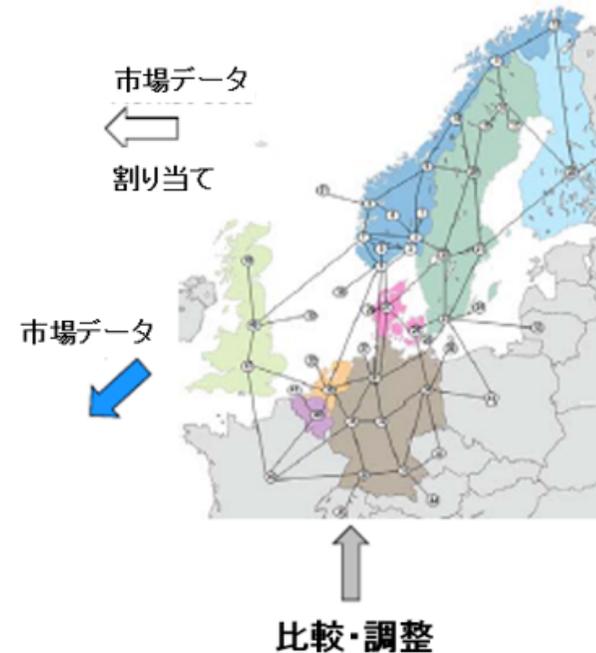
Probabilities

Realizations

市場シミュレーション (LP)

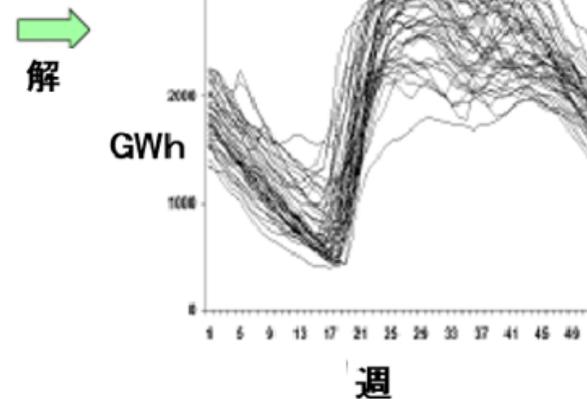


電力市場の特定化



比較・調整

シミュレーション結果



解

資料: SINTEF, SINTEF Energy Research, SINTEF Energy Research, SOVN – A new fundamental market model – Including individual water values and power flow constraints

4-4 EUPHMIAの構造と情報開示

(1) EUPHMIAの目的と意義

- **EUPHMIA とは**→EU + Pan-european Hybrid Electricity Market Integration Algorithm
- EU19ヶ国において、EU大の「day-ahead」マーケットの電力価格について、電力取引により毎日使用されるアルゴリズム
- 電力部門の大きな課題—(ベターな電力市場)
エネルギーの効率化、エネルギーミックス上の再エネの増加、EU大の電力取引市場の統合化、電力のバランス市場の複雑性の増加など……
→ 硬直ではなく柔軟性を問われている
- 国ごとのマーケットカップリングを行い、総経済社会効果の最大化を目指し、ネットワーク容量利用を通じた最適化によるマーケットの価格と流量を計算、公表。

(2) EUPHMIA導入の意義 — 厚生を最大化を求める

- 最も競争的な価格がもたらされる
- 全体的な厚生の増加
- 効率的な容量の配分

(3) EUPHMIAの構造 = 目的関数 + 制約条件など (**多種大量の数値データ必要**)

- 混合整数二次計画 (MIQP) の最適問題を多数の制約条件式の下で最大解



この支援システムを動かすためには、情報の高いアクセシビリティが大前提

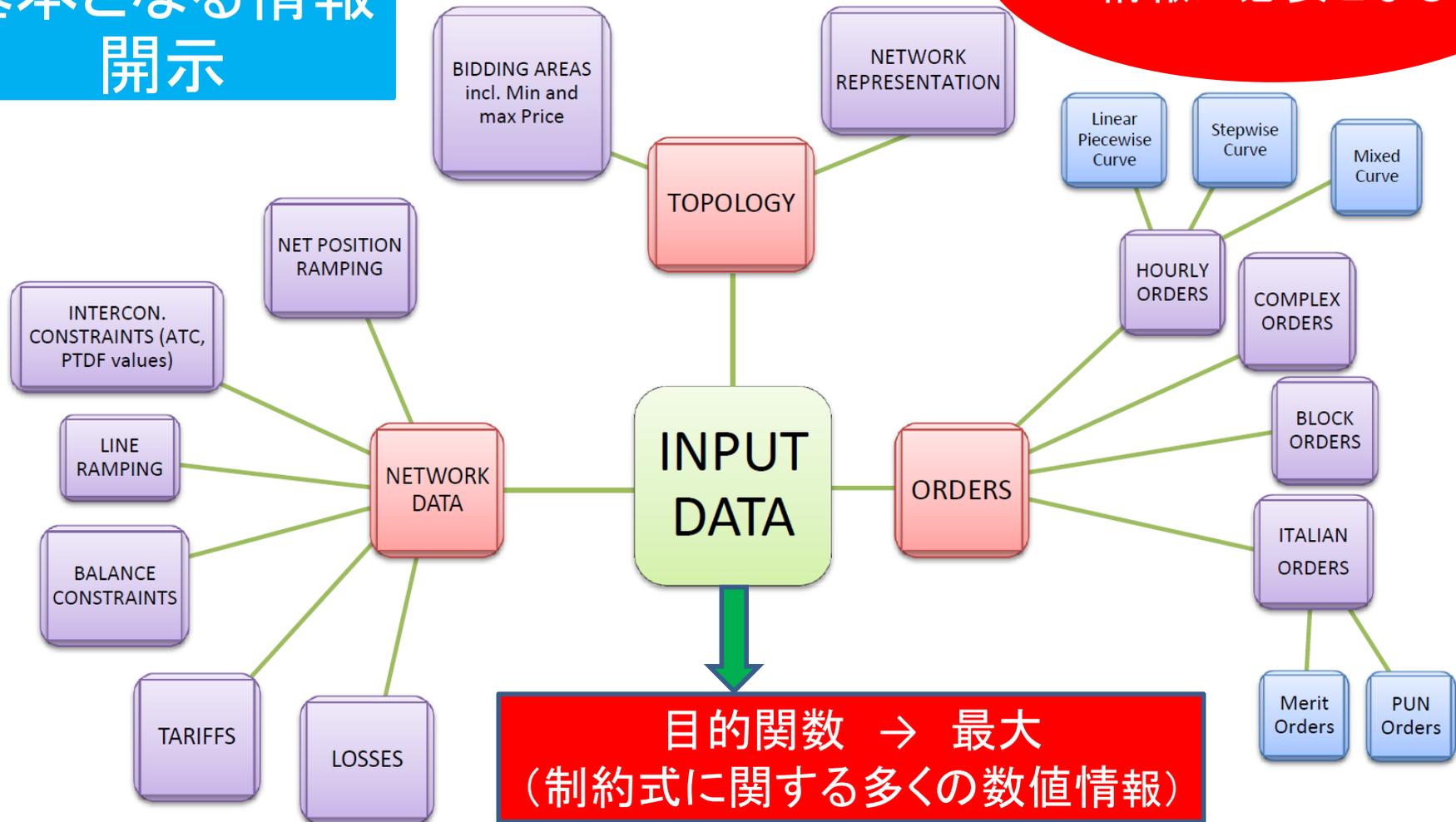


情報開示が必須

●必要となる膨大な多種多様の数値情報 — 情報開示が基本！

EUPHEMIAのアルゴリズムに必要なINPUT DATA

基本となる情報 開示



4-5 行政における情報開示と積極的活用

5-1 EUPHMIAにおける2つの情報開示

- (1) モデル化が容易にできる関係情報が十分に開示された社会が前提
- (2) 自体(EUPHMIA)の出力された数値の開示

5-2 情報の共有と議論の深まり、公正性、

- ・ RIA(規制影響評価)の数量化を積極的に進めること
- ・ 行政のエビデンス(EBPM: Evidence Based Policy Making)
内閣府担当大臣「限られた資源を有効に活用し、国民により信頼される行政を展開するためには、証拠に基づく政策立案、すなわちEBPMを推進する必要がある」と発言
- ・ 「官民データ活用推進基本法」(2016.12成立)の理念を踏まえたオープンデータ化なども通じた情報のアクセシビリティを高めることは喫緊の課題
- ・ 「電力・ガス取引監視等委員会」の責務履行
法律によって審査、経済産業大臣に意見、建議する権限が与えられている。公正な電力改革を進める機会を創出することである。
- ・ OECDのRIA(Regulatory Impact Analysis、規制影響分析)に関係する国内法による評価の拡充、検証の徹底

5. まとめ

(1) ノルウェーのグリーンバッテリーについて

- ・グリーンバッテリー

- ・EVの展開

WHO: 300万人—毎年大気汚染による世界の死亡者数

(2) 電力のオペレーション等の支援システム

(3) 情報アクセシビリティの向上

- ・電力関係データの情報開示

(事例) 国土交通省の総合交通計画における情報の駆使と情報開示

- ・統計法、行政評価法、「官民データ活用推進基本法」に基づくEBPMの徹底

- ・RIA(規制影響分析)による評価の拡充、検証の徹底、など



最後まで、ご清聴感謝申し上げます