



## 科研費基盤(A)

再エネ大量導入を  
前提とした  
分散型電力システムの  
設計と地域的な  
経済波及効果の研究  
部門A研究会

2018年7月26日(木)  
@京都大学

# 電力系統研究の方向性について



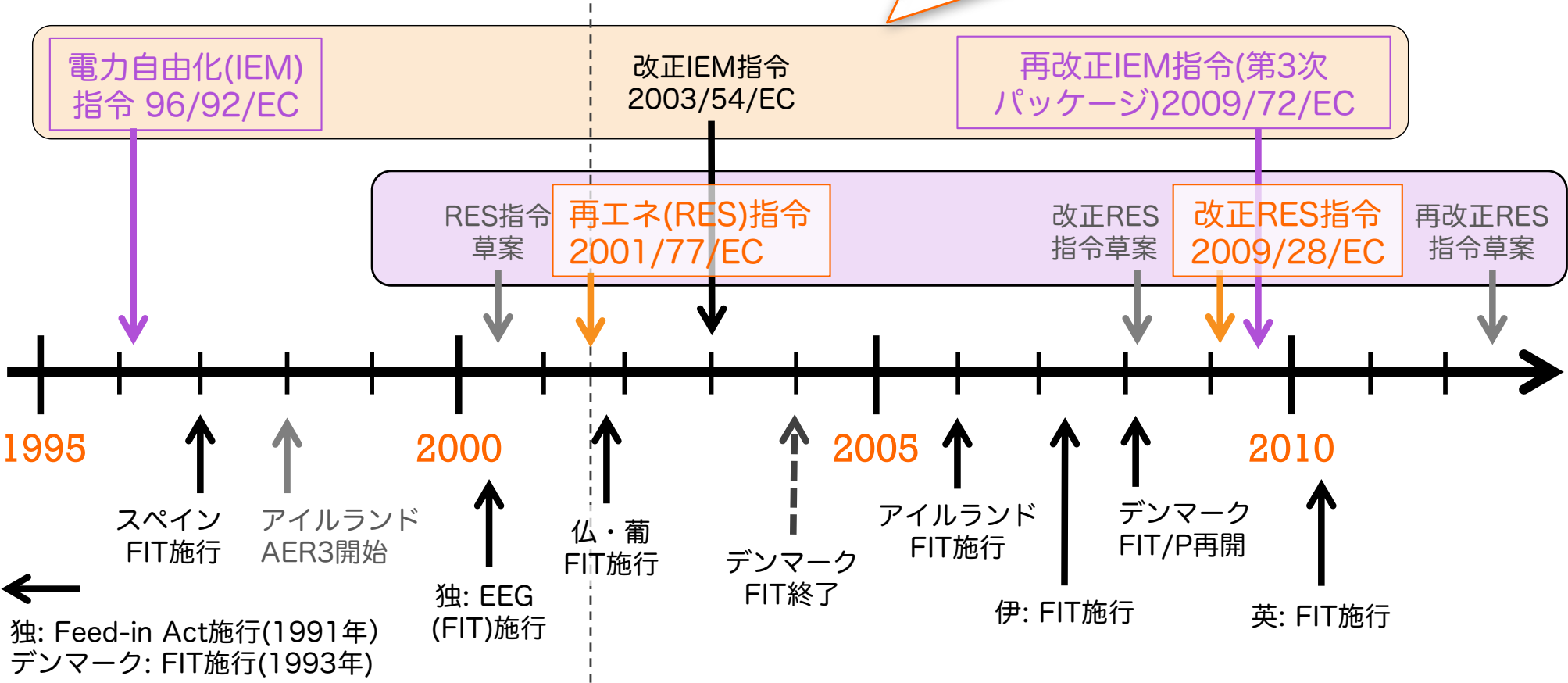
京都大学大学院 経済学研究科  
再生可能エネルギー経済学講座  
特任教授

安田 陽

# + 欧州の電力自由化・再エネ政策の推移

電力自由化と再エネ政策は車の両輪

EU政策



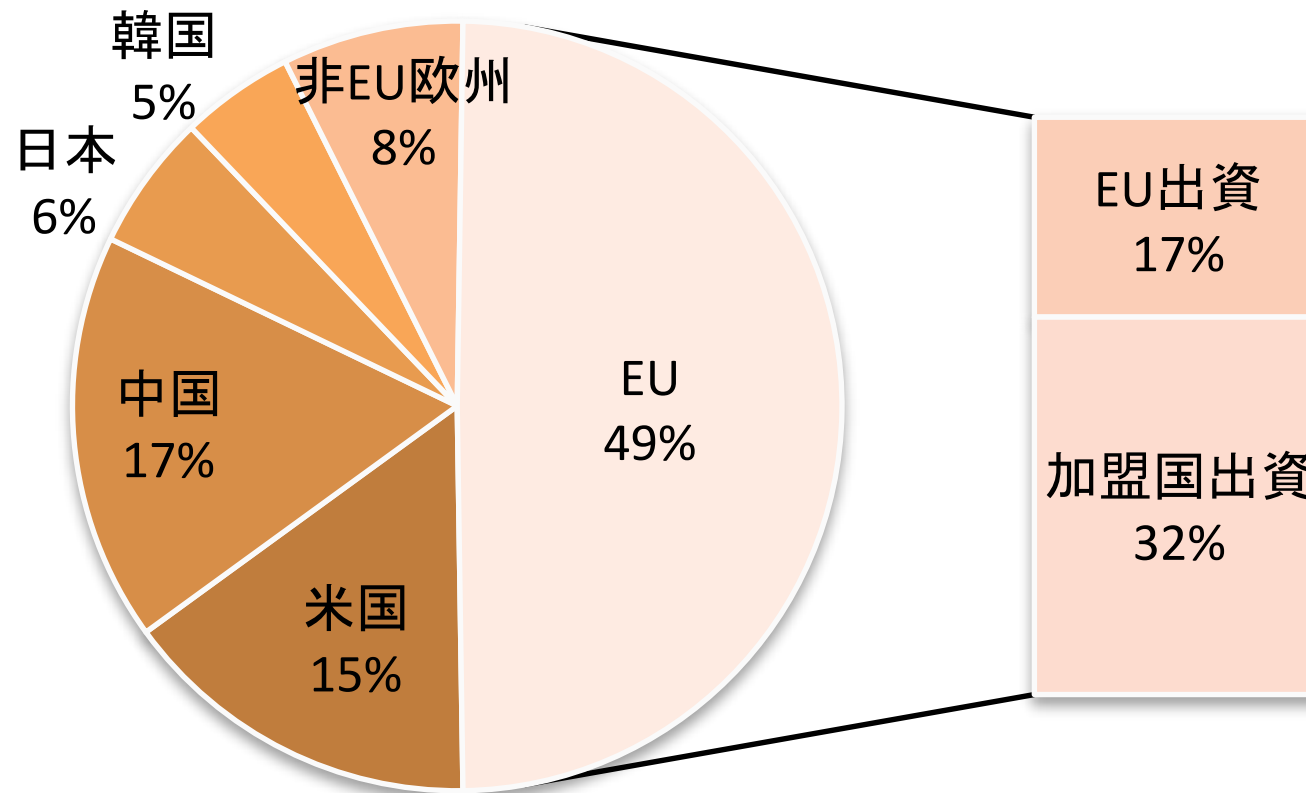
各国政策



# EUの科学技術研究開発プロジェクト

プログラム名称	期間	予算 [€]	うちエネルギー関連 [€]
第6次枠組計画(FP6)	2002～ 2005年	170億	
第7次枠組計画(FP7)	2007～ 2013年	532億	24億
競争力及び技術革新枠組 計画(CIP)	2007～ 2013年	36億	—
欧州インテリジェント エネルギー計画 (IEE)			7.3億
ホライズン2020	2014～ 2020年	770億	59億
戦略的エネルギー技術 プラン (SETプラン)	2013年 ～	585～715億 (投資予想額)	

# + 電力系統関連の研究開発投資の国際分布



# +EUの送電研究開発プロジェクト

表 1 欧州委員会が出資する送電インフラ研究開発プロジェクト

枠組	プロジェクト名	正式名称 (筆者訳)	期間	予算 [€] (EC 出資率)	主な参加者 (太字はプロジェクト責任者)			ウェブサイト
					送電事業者 (TSO)	その他の民間団体 (発電事業者・配電事業者・メーカー・コンサルなど)	大学・研究機関など	
IEE	GREENNET-EU27	拡大する欧州における再生可能エネルギーの系統連系のコスト最小化	2005年1月～2006年12月	129万 (50%)	—	Elkraft System (DK), EnBW (DE)	TU Wien (AT), Fraunhofer ISI (DE), Lund Univ. (SE), Sintef (NO), Univ. Manchester (UK)	ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/greennet-eu27
FP6	RELIANCE	成長する分散型電源および再生可能エネルギー市場に関連した体系的アプローチを用いた電力供給の信頼度を最適化するための欧州送電網の研究活動の調和された展望	2005年10月～2007年9月	263万 (83%)	Elia (BE), REE (ES), Statnett (NO), TenneT (NL), CEPS (CZ), Terna (IT), Energinet.dk (DK)	Suez-Tractebel (BE), Eltra (DK), EdF (FR), Technofī (FR)	Sintef (NO)	www.ca-reliance.org
FP6	UNIFLEX-PM	将来の電力網の汎用的で柔軟な管理のための先進的パワーコンバータ	2006年3月～2009年8月	234万 (80%)	—	Areva T&D UK (UK), ABB Scheron (CH), Dynex Semiconductor (UK), European Power Electronics and Drives Association	Univ. Nottingham (UK), Aalborg Univ. (DK), Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (CH), Univ. Degli Studi di Genova (CH)	www.eee.nott.ac.uk/uniflex/
FP6	SUPWIND	風力発電の大規模連系のための支援決定	2006年10～2009年9月	186万 (63%)	Energinet.dk (DE), Hellenic TSO (GR)	Integriertes Ressourcen Management (AT)	Univ. Duisburg-Essen (DE), Risø Nat. Lab. (DK), Univ. Stuttgart (DE), TU Wien (AT)	hsupwind.risoe.dk
IEE	GREENNET-Incentives	さまざまな欧州電力系統への大規模再生可能エネルギー電源の連系のための系統関連インセンティブの促進	2006年11月～2009年4月	100万 (50%)	—	EnBW (DE), ENVIROS (CZ), IT Power (UK)	TU Wien (AT), Fraunhofer ISI (DE), Regulatory Authority for Energy of the Hellenic Republic (GR), Sintef (NO)	ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/greennet-incentives
IEE	TradeWind	汎欧州電力市場における風力発電の連系と取引	2006年11～2009年2月	174万 (50%)	—	EWEA, 3E (BE), DENA (DE), Garrad Hassan (UK), KEMA (NL)	DTU (DK), VTT (FI), Sintef (NO)	ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/en/projects/tradewind
FP6	EWIS	欧州風力連系研究	2007年6月～2009年10月	404万 (100%)	Elia (BE), CEPS (CZ), E.On Netz (DE), Eirgrid (IE), Energinet.dk (DK), Hellenic TSO (GR), National Grid (UK), PSE (PL), REE (ES), REN (PT), RTE (FR), RWE Transportnetz (DE), TenneT (NL), Vattenfall Europe Trans. (DE), Verbund-Austrian Powergrid (AT)	—	—	www.wind-integration.eu
IEE	IMPROGRES	欧州電力市場における分散型電源および再生可能エネルギーの市場統合の社会的に最適な成果の改善	2007年9月～2010年3月	86万 (50%)	—	Institut für Solare Energie-versorgungstechnik (DE) MVV Energie (DE), Unión Fenosa Distribución (ES)	Energy research Centre of the Netherlands (NL), DTU (DK), TU Wien (AT)	www.improgres.org
FP6	ANEMOS PLUS	風力発電が大規模に連系された電力網の管理のための先進的ツール	2008年1月～2011年6月	388万 (46%)	EirGrid (IE), REE (ES), REN (PT), SONI (UK)	Association pour la Recherche et le Développement des Methodes et Processus Industriels (FR), DONG (DK), EdF (FR), EWE (DE), Vattenfall (SW)	National Univ. of Ireland (IE), Univ. Carlos III de Madrid (ES), Univ. des Antilles et de la Guyane (FR)	www.anemos-plus.eu
FP7	PEGASE	汎欧州電力網の先進的シミュレーションおよび状態推測	2008年7月～2012年6月	1,359万 (63%)	Elia (BE), REN (PT), RTE (FR), REE (ES), Turkiye Elektrik Iletim (TR)	Tractebel Engineering (BE), FGH (DE)	Technische Univ. Eindhoven (NL), Univ. Manchester (UK), System Operator-Central Dispatch Administration of the Unified Energy System (RU)	www.fp7-pegase.com
FP7	REALISE GRID	確実に競争的で持続可能な電力供給の実現を促進するために汎欧州的主要電力インフラを効果的に開発するための研究、方法論および技術	2008年9月～2011年5月	432万 (64%)	Tennet (NL), APG (AT), Terna (IT), RTE (FR)	RSE (IT), Tecnofī (FR), Prismian (IT)	JRC, TU Wien (AT), TU Delft (NL), TU Dortmund (DE), TU Dresden (DE), Univ. Manchester (UK), Univ. Ljubljani (SI)	realisegridd.rse-web.it
FP7	ICOEUR	EU およびロシア電力網のインテリジェントな運用協調と緊急制御	2009年1月～2012年5月	479万 (40%)	Terna (IT), Turkiye Elektrik Iletim (TR)	ABB (SE), Tractebel (BE), Suez-Tractebel (BE)	TU Dortmund (DE), Ricerca sul Sistema Energetico (IT), Institute of Power Systems (RU)	www.icoeur.eu
IEE	Offshore Grid	欧州のオフショアグリッドと電力市場のための調整された枠組	2009年5月～2011年10月	139万 (50%)	—	3E (BE), DENA (DE), EWEA	Sintef (NO), ForWind	www.offshoregrid.eu/
FP7	OPTIMATE	いくつかの地域電力市場に分散した大規模間歇性エネルギー源の新しい市場設計への試験的統合のためのオープンプラットフォーム	2009年10月～2012年12月	413万 (63%)	RTE (FR), REE (ES), Elia (BE), TransnetBW (DE), 50 Hertz (DE)	Technofī (FR), EnBW (DE)	KU Leuven (BE), Univ. Manchester (UK), DTU (DK), Univ. Pontificia Comillas (ES), European University Institute	www.optimate-platform.eu
FP7	SEETSOC	南東欧州送電系統運用者の課題	2010年1月～2012年12月	345万 (66%)	Terna (IT), ESO (BL), IPTO (GR), Operator Power Transmission System of Macedonia (MA)	Institute of Communication And Computer Systems (GR), CEZ Distribution Bulgaria (BL)	City Univ. (UK)	cordis.europa.eu/project/rcn/100501_en.html
FP7	MERGE	電力系統における移動エネルギー源	2010年1月～2011年12月	443万 (67%)	REN (PT), REE (ES)	Public Power Corp. (GR), Iberdrola Distribution (ES)	INESC TEC (PT), Cardiff Univ. (UK), TU Berlin (DE) Univ. Pontificia Comillas (ES)	www.ev-merge.eu
FP7	TWENTIES	革新的方法とエネルギー統合ソリューションを用いた風力発電およびその他の再生可能エネルギー電源が大量導入された送電系統の運用	2010年4～2013年9月	5,670万 (56%)	REE (ES), RTE (FR), Elia (BE), Energinet.dk (DK), TenneT (NL), 50 Hertz (DE)	Iberdrola (ES), DONG (DK), EDF (FR), Alstom Grid (UK), Games (ES), Siemens Wind (DE), EWEA, CORESO	DTU (DK), Univ. Pontificia Comillas (ES), Fraunhofer ISI (DE), Sintef (NO), UCD (IE), Uni. Strathclyde (UK), KU Leuven (BE)	www.twenties-project.eu

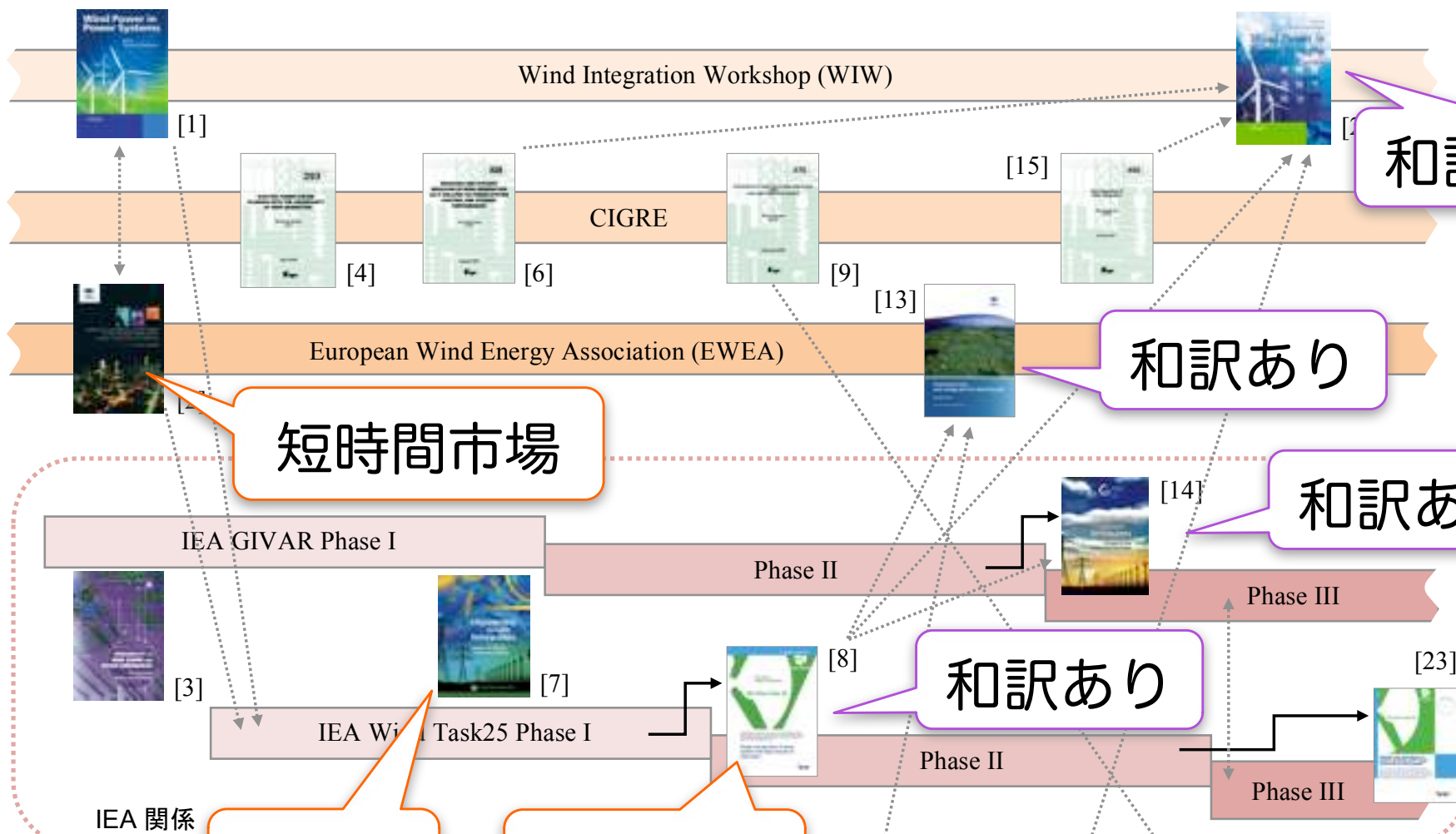
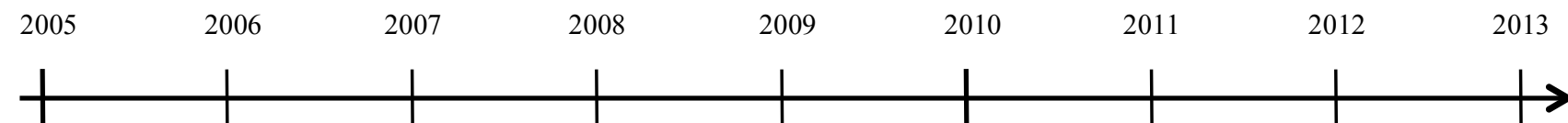
# +EUの送電研究開発プロジェクト 2

表 1 欧州委員会が出資する送電インフラ研究開発プロジェクト (つづき)

枠組	プロジェクト名	正式名称 (筆者訳)	期間	予算 [€] (EC 出資率)	主な参加者 (太字はプロジェクト責任者)			ウェブサイト
					送電事業者 (TSO)	その他の民間団体 (発電事業者・配電事業者・メーカー・コンサルなど)	大学・研究機関など	
IEE	Beyond2020	欧州の再生可能電力の調和された政策の設計と影響	2011年4月～2013年12月	175万 (75%)	—	EnBW (DE), Ecofys (NL), EGL Austria (AT)	TU Wien (AT), Fraunhofer ISI (DE)	www.res-policy-beyond2020.eu
FP7	UMBRELLA	送電系統運用者の系統セキュリティ協調における共通予測、リスクアセスメント、運用最適化のためのツールボックス	2012年1月～2015年12月	525万 (74%)	TenneT (DE), Transnet BW (DE), Amprion (DE), CEPS (CZ), PSEO (PL), Swissgrid (CH), TenneT (NL), APG (AT)	EnBW (DE), FGH (DE)	TU Delft (NL), Eidgenössische Technische Hochschule Zuerich (AT), TU Graz (AT),	www.e-umbrella.eu
FP7	iTESLA	広域系統セキュリティのための革新的ツール	2012年1月～2016年3月	1,944万 (68%)	RTE (FR), National Grid (UK), REN (PT), Statnett (NO), IPTO (GR)	Aplicacioanes en Informatica Avanzada (ES), Technofi (FR), Pepite (BE), Quinary (IT), Tractebel (BE)	DTU (DK), KTH (SE), KU Leuven (BE)	http://www.itesla-project.eu
IEE	REserviceS	変動性再生可能エネルギー電源からの経済的な系統支援	2012年4月～2014年9月	218万 (75%)	—	EWEA, EPIA, European Distribution System Operators for Smart Grids, Acciona (ES), 3E (BE), GE Wind (DE)	Fraunhofer IWES (DE), UCD (IE), DTU (DK)	www.reservices-project.eu
IEE	GRIDTECH	欧州送電系統に再生可能エネルギー電源の連系を促進するための新技術の影響評価	2012年4月～2015年4月	196万 (75%)	EirGrid (IE), ESO (BR), TenneT (NL), Terna (IT)	EUREC, EnBW (DE), Organic Power (EE)	TU Wien (AT), Univ. Pontificia Comillas (ES), JRC-EC	www.gridtech.eu/
FP7	e-Highway 2050	汎欧州送電系統 2050 のモジュール開発計画	2012年9月～2015年12月	1,304万 (69%)	RTE (FR), Amprion (DE), Elia (BE), CEPS (CZ), REN (PT), Swiss-grid (CH), Terna (IT)	EWEA, ENTSO-E, Eurelectric, Europacable, DENA (DE), Poyry (UK)	Sintef (NO), Brunel Univ. (UK), Univ. Pontificia Comillas (ES), KU Leuven (BE), TU Berlin (DE)	www.e-highway2050.eu
IEE	BESTGRID	再生可能エネルギー系統と公共受容性	2013年4月～2015年10月	196万 (75%)	50 Herz (DE), Elia (BE), National Grid (UK), TenneT (DE), Terna (IT)	Renewables Grid Initiative (DE)	Germanwacht (DE), Intl. Inst. for Applied Systems Analysis (AT), Stichting BirdLife Europe (NL)	www.bestgrid.eu/
FP7	INCREASE	制御戦略の開発およびアンシラリーサービスを用いた配電系統の再生可能エネルギー源の導入の増加	2013年9月～	433万 (71%)	Elia (BE)	Eandis (BE), Energinet Steiermark (AT), Electro gorenjska Podjetje (SL), Ilektronikes Pragmatopoisais (GR), Liander (NL),	Univ. Gent (BE), Technische Univ. Eindhoven (NL), TU Delft (NL), Univ. Ljubljani (SI), DTU (DK)	www.project-increase.eu
FP7	GARPUR	不確実性モデルおよび確率的リスク評価による一般に受容された信頼度原則	2013年9月～	1,086万 (71%)	Elia (BE), RTE (FR), Landsnet (IS), CEPS (CZ), Electro- energien systemen operator (BG), Energinet.dk (DK)	Technion (IL)	Sintef (NO), Univ. Liege (BE), Univ. Strathclyde (UK),	www.garpur-project.eu
FP7	INSPIRE-Grid	電力網増強における改善およびステークホルダー参加の向上	2013年10月～	346万 (74%)	RTE (FR), Statnett (NO), National Grid (UK)	RSE (IT), Renewables Grid GUG (DE)	Eidgenössische Technische Hochschule Zuerich (CH)	www.inspire-grid.eu
FP7	BEST PATHS	AC 送電線および多端子形 HVDC 系統のための最新技術を超えて	2014年10月～	6,280万 (57%)	REE (ES), Elia (BE), 50 Hertz (DE), RTE (FR), Statnett (NO), Energinet.dk (DK), Terna (IT)	European Organization for Nuclear Research, Nexans (FR), Iberadola Renovables Energia (ES), Siemens (DE), Toshiba T&D (IT), Alstom Grid (UK), ABB (SE)	TU Dresden (DE), Univ. of Strathclyde (UK), Cardiff Univ. (UK), Sintef (NO), DTU (DK)	www.bestpaths-project.eu
Horizon 2020	SmartNet	デマンドサイドマネジメントおよび分散型電源からのアンシラリーサービスの統合のためのスマートな送電会社・配電会社間の相互スキーム、市場構造および ICT ソリューション	2016年1月～	1,266万 (100%)	Energinet.dk (DK), Terna (IT)	RSE (IT), AIT (AT), Danske Commodities (DK), Endesa Distribucion Electrica (ES), Eurisco (DK), Siemens SPA (IT), Vodafone Procurement (LU)	DTU (DK), Sintef (NO), Univ. Strathclyde (UK), VTT (FI), European University Institute	—
Horizon 2020	FutureFlow	欧州の需給調整および再ディスパッチのための e トレーディング・ソリューションの設計	2016年1月～	1,299万 (100%)	ELES (SI), MAVIR (HU), Transelectrica (RO)	3E (BE), Elektroinstitut Milan Vidmar (SI), Elektroenergetski Koordinacioni Centar (FR), SAP (DE), Cybergrid (AT), Gemalto (RS)	—	—
Horizon 2020	MIGRATE	パワーエレクトロニクス装置の大規模連系	2016年1月～	1,786万 (94%)	TenneT (DE), Scottish Power (UK), RTE (FR), REE (ES), ELES (SI), Amprion (DE), Eirgrid (IE), Elering (EE), Fingrid (FI), Terna (IT), Landsnet (IS)	Schneider Electric Industries (FR), Elektroinstitut Milan Vidmar (SI),	TU Delft (NL), UCD (IE), Univ. Ljubljani (SI), TU Berlin (DE), Uni. Manchester (UK)	—
Horizon 2020	PROMO TioN	メッシュ状 HVDC オフショア送電網の発展	2016年1月～	5,159万 (76%)	Eirgrid (IE), RTE (FR), TenneT (NL), Energinet.dk (DK)	KEMA (NL), ABB (SE), Supergrid Institute (FR) Mitsubishi Electric Europe (NL), Alstom Grid UK (UK), Siemens (DE), DONG (DK), MHI-Vestas offshore wind (DK)	KU Leuven (BE), KTH (SE), Univ. Aberdeen (UK), TU Delft (NL), DTU (DK)	—
Horizon 2020	BestRES	再生可能エネルギーアグリゲータのためのビジネスモデルのベストプラクティスおよび実施	2016年3月～	199万 (100%)	—	Wirtschaft und Infrastruktur (DE), 3E (E), Stiftung Umweltenergie (DE), Good Energy (UK), Next Kraftwerke Belgium (BE), Oekoström (AT), Youris.com (BE)	TU Wien (AT), Centre for New Energy Technologies (PT)	—

【国コード】 AT:オーストリア, BE:ベルギー, BG:ブルガリア, CH:スイス, CZ:チェコ DE:ドイツ, DK:デンマーク, EE:エストニア, ES:スペイン, FI:フィンランド, FR:フランス, GR:ギリシャ HU:ハンガリー, IE:アイルランド, IL:イスラエル, IT:イタリア, IS:アイスランド, LU:ルクセンブルク, NL:オランダ, NO:ノルウェー, PL:ポーランド, PT:ポルトガル, RO:ルーマニア, RS:セルビア, RU:ロシア, SE:スウェーデン, SI:スロベニア, UK:英国, 無記載(イタリック):国際組織  
 【組織名略称】 ①送電系統運用者 CEPS: Česká energetická přenosová soustava, ELES: Elektro-Slovenija, ESO: Electricity System Operator (Bulgaria), REE: Red Eléctrica de España, REN: Rede Eléctrica Nacional, RTE: Réseau de Transport d'Electricité, ②その他の民間団体 AIT: Austrian Institute of Technology, CORESO: COOrdination of Electricity System Operators, DENA: Deutsche Energie-Agentur, EdF: Électricité de France, EnBW: Energie Baden-Württemberg, EPIA: European Photovoltaic Industry Association, EWEA: European Wind Energy Association (now: Wind Europe), FGH: Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft, KEMA: Keuring van Elektrotechnische Materialen te Arnhem, RSE: Ricerca sul Sistema Energetico, ③大学・研究機関など DTU: Danmarks Tekniske Universitet, KTH: Kungliga Tekniska högskolan (Royal Institute of Technology), UCD: University College of Dublin, VTT: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (Technical Research Centre of Finland)

# + 欧州の風力系統連系研究の系譜 1

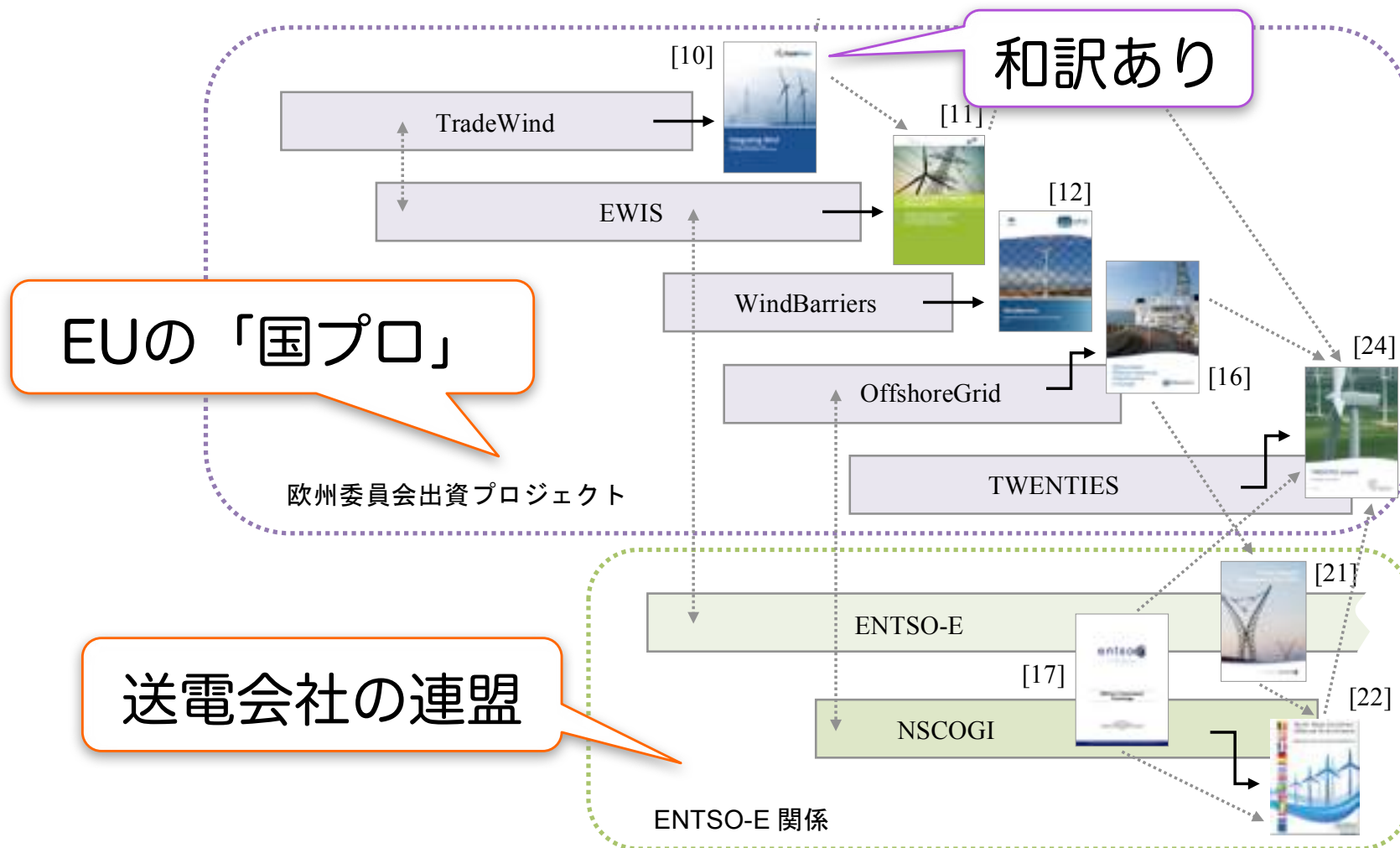
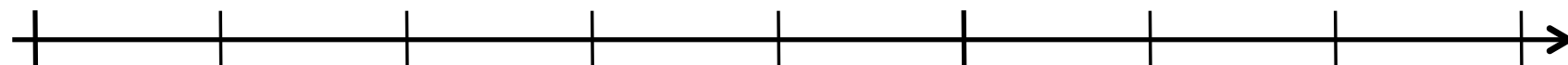


安田陽: 風力発電系統連系研究の系譜, 日本風力発電協会誌 JWPA 第9号, pp.33-40 (2013)



# + 欧州の風力系統連系研究の系譜 2

2005      2006      2007      2008      2009      2010      2011      2012      2013





# +EUの風力連系研究文献 1

表 2 出風力連系研究に関する各種文献リスト出

	表紙	著者・タイトル	発行年月	発行元 (研究主体)	ページ数	概要	入手先 (2013年7月末現在)	日本語版 (2013年7月末現在)
1		T. Ackermann ed.: “Wind Power in Power Systems, 1 <sup>st</sup> Edition”	2005	Wiley (WIW)	690p	2000年から毎年開催されるWIWの主要論文の集大成。風力発電の系統連系に関するほぼ全ての問題を網羅。2012年に全面改訂(文献[20])。	有料書籍(入手困難) ISBN 0-470-85508-8	なし
2		F. Van Hulle: “Large Scale Integration of Wind Energy in the European Power Supply: analysis, issues and recommendation”	2005	EWEA	194p	EWEAが事実上初めて出した本格的な系統連系に関する報告書。内容は文献[1]と共有することが多い。	<a href="http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/grid/051215_Grid_report.pdf">http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/grid/051215_Grid_report.pdf</a>	なし
3		IEA: “Variability of Wind Power and other Renewables – Management options and strategies”	2005	IEA	57p	IEAが事実上初めて出した本格的な系統連系に関する報告書。「変動電源」「柔軟性」などのキーワードが見られる。	<a href="http://www.uwig.org/iea_report_on_variability.pdf">http://www.uwig.org/iea_report_on_variability.pdf</a>	なし
4		CIGRE WG C1.3: “Electric Power System Planning with the uncertainty of Wind Generation”	2006. 4	CIGRE WG C1.3	147p	CIGRE SC C1(系統計画と経済)部門の報告書。風力発電の不確実性(建設時期・場所、出力変動、技術的特性)を考慮した系統計画に関する調査研究。数分~20年先の不確実性を検討。	<a href="http://www.e-cigre.org/">http://www.e-cigre.org/</a> 有料(CIGRE会員は無料)	なし
5		J. Twidell and G. Gaudiosi: “Offshore Wind Power”	2007	Multi- Science Publishing	357p	洋上風力発電に関する事実上初めてのまとまった書籍。系統連系に関連する章は3章あり、約80頁記載。	有料書籍 ISBN 978-0906522-639	JWEA訳:「洋上風力発電」, 鹿島出版会(2011. 11)
6		CIGRE WG C4.601: “Modeling and Dynamic Behavior of Wind Generation as it Relates to Power System Control and Dynamic Performance”	2007. 8	CIGRE WG C4.601	216p	CIGRE SC C4(系統の技術性能)部門の報告書。風力発電機の動的モデリングとそれを用いた系統解析。各国事例の章で日本についても若干言及あり。	<a href="http://www.e-cigre.org/">http://www.e-cigre.org/</a> 有料(CIGRE会員は無料)	なし
7		IEA: “Empowering Variable Renewables – Options for Flexible Electricity Systems”	2008	IEA	35p	2008年北海道洞爺湖のG8サミットのためにまとめられた再生可能エネルギーの系統連系に関する報告書。文献[3]のSPM(政策決定者向け要約)に相当。	<a href="http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Empowering_Variable_Renewables.pdf">http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Empowering_Variable_Renewables.pdf</a>	なし
8		H. Holttinen et al.: “Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power”, IEA Wind Task 25, Final Report, Phase one 2006-08	2009	VTT (IEA Wind Task 25)	232p	IEA風力実施協定 Task25 第1期報告書。風力発電大量導入時の予備力増加、系統運用コスト、容量クレジットなどの各国比較研究がまとめられている。	<a href="http://www.ieawind.org/annex_XV/PDF/Final%20Report%20Task%2025%202008/T2493.pdf">http://www.ieawind.org/annex_XV/PDF/Final%20Report%20Task%2025%202008/T2493.pdf</a>	近藤・安田訳:「風力発電が大量に導入された電力系統の設計と運用」(2012. 12) <a href="http://jema-net.or.jp/japanese/res/wind/shiryo.html">http://jema-net.or.jp/japanese/res/wind/shiryo.html</a>

# +EUの風力連系研究文献 2

9		CIGRE WG B4.39: “Integration of Large Scale Wind Generation using HVDC and Power Electronics”	2009.2	CIGRE WG B4.39	157p	CIGRE SC B4(直流送電とパワーエレクトロニクス)部門の報告書。自励式HVDCによる洋上風力発電の事例と解析。	<a href="http://www.e-cigre.org/">http://www.e-cigre.org/</a> 有料(CIGRE 会員は無料)	なし
10		F. Von Hulle: “Integrating Wind: Developing Europe’s power market for the large-scale integration of wind power”	2009. 5	EWEA (Trade Wind)	106p	欧州委員会出資の「欧州インテリジェントエネルギープログラム」による“TradeWind”プロジェクトの最終報告書。送電混雑を緩和するための系統設計と電力市場設計に関するシミュレーション。	<a href="http://www.uwig.org/TradeWind.pdf">http://www.uwig.org/TradeWind.pdf</a>	安田訳:「風力発電の市場統合と系統連系(仮題)」,近日中に JEMA より公開予定
11		W. Winter: “European Wind Integration Study – Towards A Successful Integration of Large Scale Wind Power into European Electricity Grids”	2010. 2	EWIS	182p	欧州委員会出資の「第6次枠組みプログラム」による“EWIS”プロジェクトの最終報告書。風力発電に夜欧州陸上系統のボトルネックを特定し、系統増強計画を提言。	<a href="http://www.wind-integration.eu/downloads/library/EWIS_Final_Report.pdf">http://www.wind-integration.eu/downloads/library/EWIS_Final_Report.pdf</a>	なし
12		“WindBarriers: Administrative and grid access barriers to wind power”	2010. 7	EWEA (Wind Barriers)	152p	欧州委員会出資の“WindBarriers”プロジェクトの最終報告書。系統アクセスの障壁についての分析。	<a href="http://www.windbarriers.eu/fileadmin/WB_docs/documents/WindBarriers_report.pdf">http://www.windbarriers.eu/fileadmin/WB_docs/documents/WindBarriers_report.pdf</a>	なし
13		F. Van Hulle: “Powering Europe: wind energy and the electricity grid”	2010. 11	EWEA	179p	EWEA の系統連系に関する報告書。技術的な内容は文献[2],[8]からの引用が多い。メリットオーダー分析もあり。	<a href="http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Grids_Report_2010.pdf">http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Grids_Report_2010.pdf</a>	JWPA 訳:「風力発電の系統連系～欧州の最前線」(2012. 2) <a href="http://www.jwea.or.jp/publication/PoweringEuropeJP.pdf">http://www.jwea.or.jp/publication/PoweringEuropeJP.pdf</a>
14		IEA: “Harnessing Variable Renewables – A Guide to the Balancing Challenge”	2011	IEA	234p	文献[3],[7]に続く、IEA の変動電源系統連系問題に関する公式報告書。日本を含む各国の柔軟性分析あり。	<a href="http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Harnessing_Variable_Renewables2011.pdf">http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Harnessing_Variable_Renewables2011.pdf</a>	なし
15		CIGRE WG C6.08: “Grid Integration of Wind Generation”	2011. 2	CIGRE WG C6.08	140p	CIGRE SC C6(配電系統と分散電源)部門の報告書。周波数制御、無効電力制御、電圧安定度、LVRT などについて各国の事例を比較調査。	<a href="http://www.e-cigre.org/">http://www.e-cigre.org/</a> 有料(CIGRE 会員は無料)	なし
16		J. De Decker and P. Kreutzkamp: “Offshore Electricity Grid Infrastructure in Europe”	2011. 10	EWEA (Offshore Grid)	152p	欧州委員会出資の“OffshoreGrid”プロジェクトの最終報告書。海底ケーブル、洋上変電所/変換所、洋上風力発電所などから構成されるオフショアグリッドの実現可能性研究。	<a href="http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/OffshoreGrid_report.pdf">http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/OffshoreGrid_report.pdf</a>	なし
17		ENTSO-E: “Offshore Transmission Technology”	2011. 11 (2012. 10 改訂)	ENTSO-E (NSCOGI)	46p	NSCOGI(北海沿岸諸国オフショアグリッド構想)のための ENTSO-E 地域グループの報告書。自励式HVDC や XLPE (CV) ケーブルなど、オフショアグリッドの技術的課題についての分析。	<a href="http://www.benelux.int/NSCOGI/NSCOGI_OffshoreTechnologyReport_ENTSOE.pdf">http://www.benelux.int/NSCOGI/NSCOGI_OffshoreTechnologyReport_ENTSOE.pdf</a>	なし

# +EUの風力連系研究文献 3

18		IPCC “Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation – Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”	2012	Cambridge University Press (IPCC WG III)	1,088 p	IPCC (気候変動に関する政府間パネル) 第三作業部会による再生可能エネルギーの報告書 (通称 SRREN)。系統連系関係の記述は第8章「風力発電」および第9章「エネルギーシステムへの統合」の計 30 頁程度。	<a href="http://srren.ipcc-wg3.de/report">http://srren.ipcc-wg3.de/report</a>	近日公開予定
19		NEA: “Nuclear Energy and Renewables – System Effects in Low-carbon Electricity Systems”	2012	NEA	225p	OECD/NEA (経済協力開発機構原子力機関) が公表した報告書。再生可能エネルギーの系統連系コストは高いとの評価。	<a href="http://www.oecdbookshop.org/oecd/">http://www.oecdbookshop.org/oecd/</a> 有料資料	なし
20		T. Ackermann ed.: “Wind Power in Power Systems, 2 <sup>nd</sup> Edition”	2012. 5	Wiley (WIW)	1,049 p	文献[1]の大幅改訂版。第1版出版後の7年間の集大成で、第1版の内容が殆ど更新されている。風力発電の系統連系に関するほぼ全ての問題を網羅。第2版には中国の系統も登場。日本に関する言及は皆無。	有料書籍 ISBN 978-0-470-97416-2	日本風力エネルギー学会訳:「電力系統における風力発電(仮題)」, オーム社 (2013 年秋出版予定)
21		ENTSO-E: “10-Year Network Development Plan 2012”	2012. 7	ENTSO-E	219p	全欧州の系統運用者の協議会である ENTSO-E が発行する系統 10 年計画。風力連系研究に特化したものではないが、2020 年までに再生可能エネルギーが消費電力量の 38%を占めるとの予測の下、系統強化を計画。	<a href="https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/SDC/TYNDP/2012/TYNDP_2012_report.pdf">https://www.entsoe.eu/fileadmin/user_upload/library/SDC/TYNDP/2012/TYNDP_2012_report.pdf</a>	なし
22		“The North Seas Countries’ Offshore Grid Initiative –Initial Findings–”, Final Report	2012. 11	Benelux (NSCOGI)	142p	NSCOGI プロジェクト WG1 (系統構成) の最終報告書。環北海のオフショアグリッドのコスト試算により、メッシュ型構成が有利と結論。	<a href="http://www.benelux.int/NSCOGI/NSCOGI_WG1_OffshoreGridReport.pdf">http://www.benelux.int/NSCOGI/NSCOGI_WG1_OffshoreGridReport.pdf</a>	なし
23		H. Holttinen et al.: “Design and Operation of Power Systems with Large Amounts of Wind Power”, IEA Wind Task 25, Final Summary Report, Phase two 2009-2011	2013. 4	VTT (IEA Wind Task 25)	100p	文献[8]にその後の各国の実績や知見が追補された内容。日本の知見はほとんど盛り込まれていない (国際比較ができるほどのデータの入手が困難なため)。	<a href="http://www.ieawind.org/task_25/PDF/T75.pdf">http://www.ieawind.org/task_25/PDF/T75.pdf</a>	なし
24		“TWENTIES project”, Final report – short version	2013. 6 (要約版)	EWEA (TWENTIES)	24p	欧州委員会が出資する「第7次枠組みプログラム」による “TWENTIES” プロジェクトの最終報告書。HVDC 実証研究など6つの実証研究を含む17の作業部会があり、欧州の主要な系統運用者、発電事業者、重電メーカーが参加している。	<a href="http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Twenties_report_short.pdf">http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Twenties_report_short.pdf</a>	なし

# + 世界の論調 1

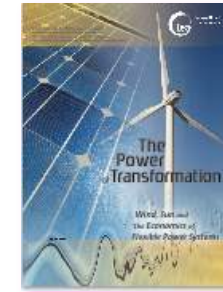


10



- 欧州の電力系統に連系できる風力発電の量を決めるのは、**技術的・実務的制約よりも、むしろ経済的・法制的枠組み**である。
- 風力発電は今日すでに、大規模電力系統では深刻な**技術的・実務的問題が発生することなく電力需要の20%までを占めることができる**と一般に見なされている。
- **20%以上というさらに高い導入率のためには、電力系統および風力発電を受け入れるための運用方法における変革が必要**である。

# + 世界の論調 2



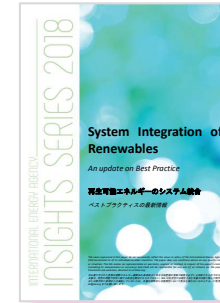
13



- VRE（変動性再エネ）の低いシェアにおいて（5～10%）、電力システムの運用は、大きな技術的課題ではない。
- 現在の電力システムの柔軟性の水準を仮定すると、技術的観点から年間発電電力量の 25～40%の VREシェアを達成できる。
- 従来の見方では、電力システムで持ち得る全ての対策を考慮せずに、風力発電と太陽光発電を増加させようとしてきた。この“伝統的”な考え方では、重要な点を見落とす可能性がある。



# + 世界の論調 3



- VREの統合についての議論は、誤解、通説、更には誤った情報によって依然として歪められている。
- VREの統合には電力貯蔵が前提条件であるとか、従来の発電機はVRE導入の拡大に伴い非常に大きなコスト増を強いられるなどと主張されることが多い。
- このような主張は、現実ではあるが、最終的には管理可能な問題から意思決定者の注意を逸らす可能性があり、これを放置すれば、VREの導入を中断させることにもなる。

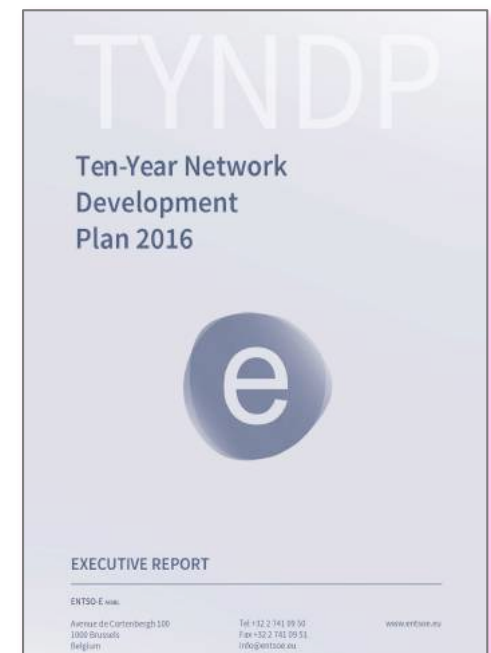
## + 海外の風力連系・送電研究の注目すべきキーワード

- 費用便益分析 cost-benefit analysis
- シナリオ分析 scenario analysis
- 障壁研究 barrier study
- 社会技術モデル socio-technical model
- 容量クレジット capacity credit
- 系統価値（システム価値） system value



# + 注目すべき海外の先行研究 1

- ENTSO-E: 系統開発10ヶ年計画2016
  - 複数のエネルギーミックスシナリオ設定
  - 2030年までに約200件の送電線増強・新設計画
  - 各路線ごとの費用便益分析
  - 1500億ユーロ(約20兆円)の投資
  - 電気料金に換算すると、約0.2円/kWhの増加
  - ネットワークコストは上昇するが再エネ大量導入により卸電力価格は下がる。





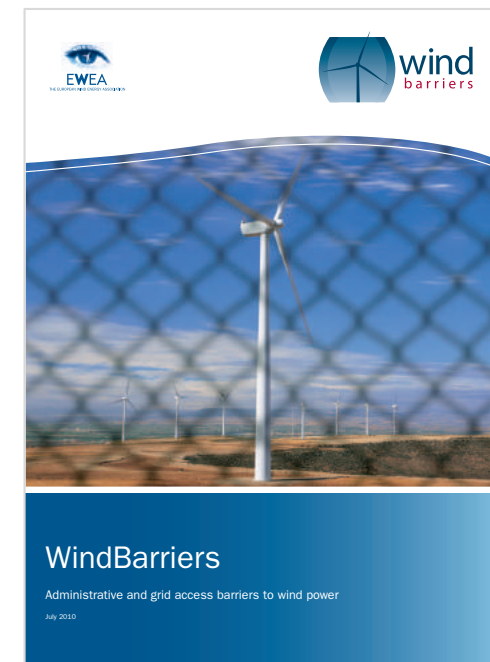
## + 「費用便益分析」という概念

- 公共事業を行う国交相では当たり前前の概念
- 電力産業は経産省管轄
- 電力分野は費用便益分析という概念が未成熟？
- “費用便益”のgoogleヒット数

省	サイト	ヒット数
経済産業省	meti.go.jp	4,120
環境省	env.go.jp	4,140
国土交通省	milt.go.jp	29,800

## + 注目すべき海外先行研究 2

- EWEA (現・WindEurope): WindBarriers (2010)
  - 風力大量導入に当たっての参入障壁は何か？
  - 分野の垣根を超えた社会技術研究
    - 許認可・規制
    - 系統連系
    - 市場モデル分析
- 日本の類似研究
  - ほとんどなし？



## + 注目すべき先行研究 3

- IEA: 再生可能エネルギーのシステム統合 (2017)
  - 経産省(東大・荻本研)が翻訳
  - VRE導入レベル4段階
  - VRE大量導入時の各国比較  
ベストプラクティス研究
  - システム価値



# + 均等化発電原価 (LCOE) とシステム価値の比較

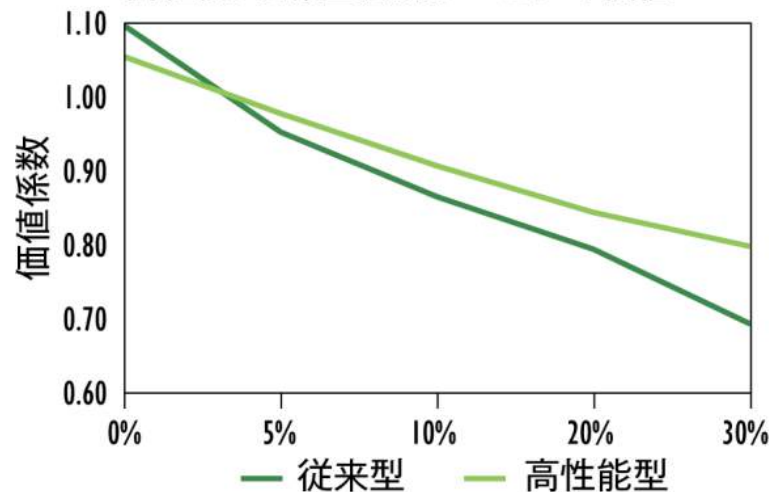
## LCOE

- 導入費
- 運点・保守費  
(燃料、適用できれば排出)
- 財務費
- ...

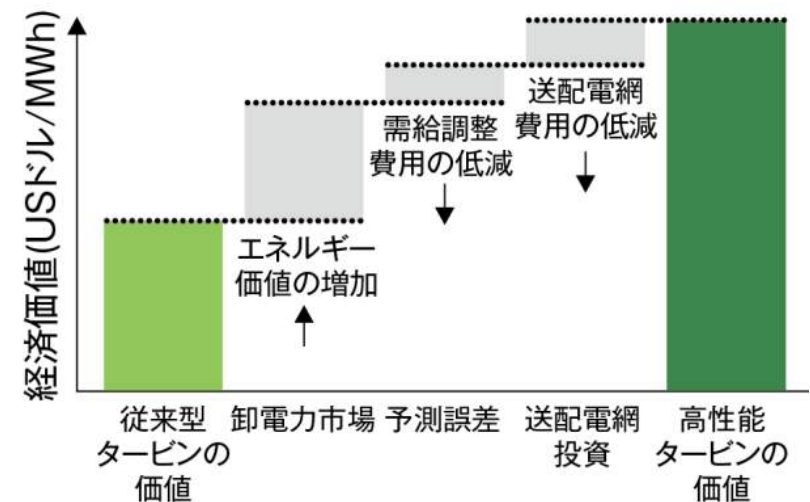
## システム価値

- 正
- 燃料費と排出費の削減
  - 他の発電機容量の必要量、費用の削減
  - 送配電費用の削減
- 負
- 他の発電所の運用費の増加
  - 送配電費用の増加
  - 出力抑制

高性能/従来型風力タービンの価値



(出典) IEA: 再生可能エネルギーのシステム統合 (2017)



## + 注目すべき海外先行研究 3

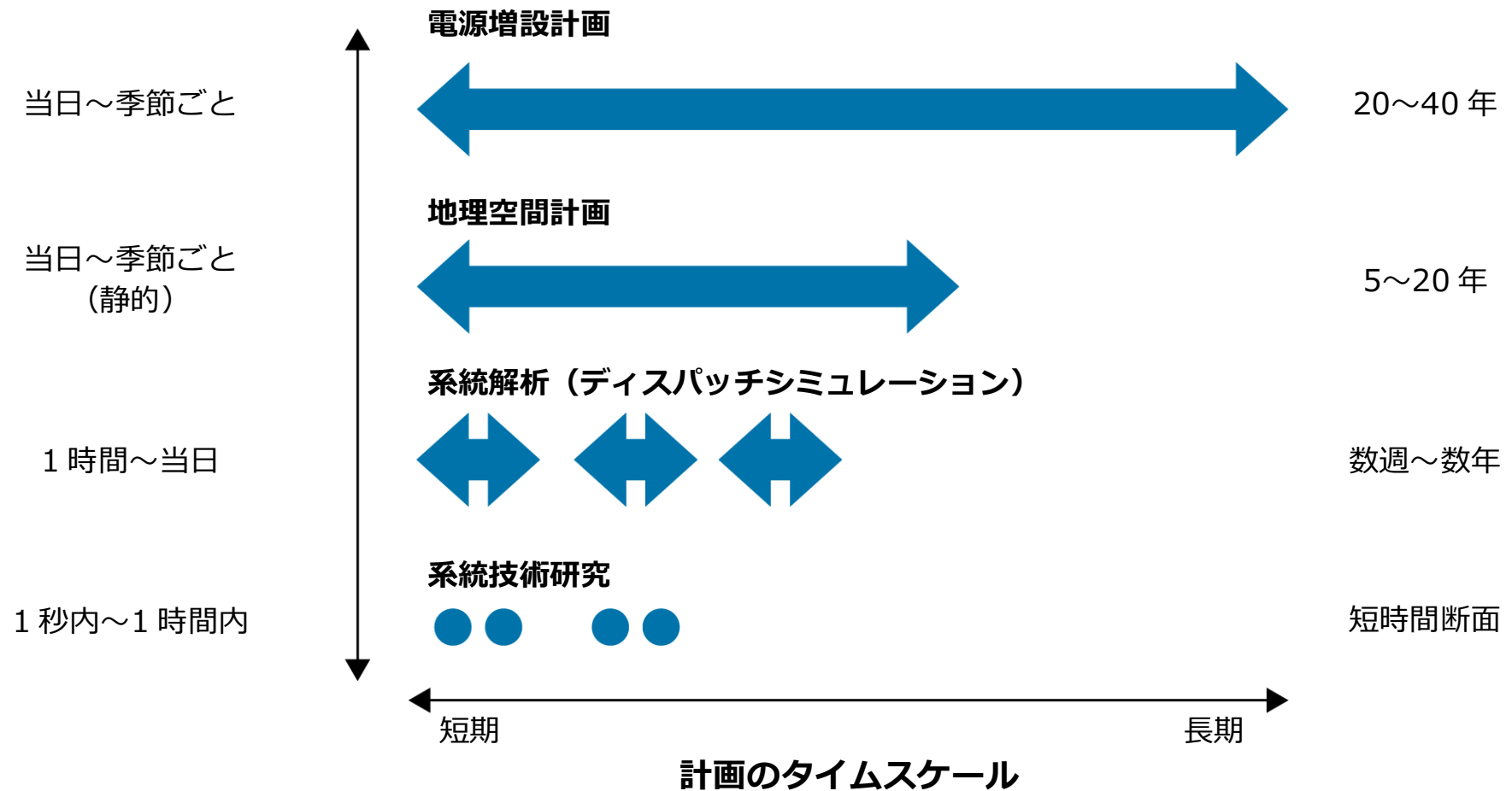
- IRENA: 再生可能な未来のための計画 (2017)
  - 元々は電力エキスパートが少ない途上国のための電力モデリングのマニュアル
  - 日本にも参考になるため環境省(京大・安田)が翻訳
  - 短期～長期に亘る電力系統+市場モデルと方法論の紹介



# + 社会技術モデルのタイムスケール

一般的なタイムレゾリューション

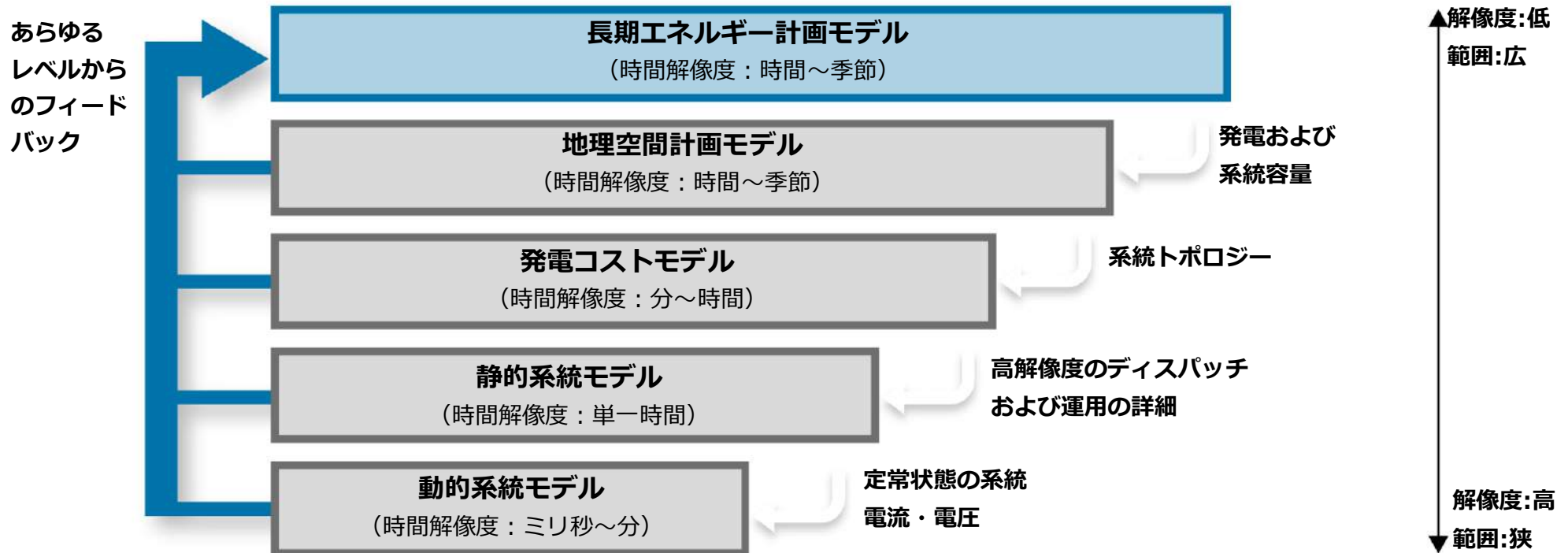
一般的なタイムフレーム



(出典) IRENA: 再生可能な未来のための計画 (2017)



# + 社会技術モデルの解像度

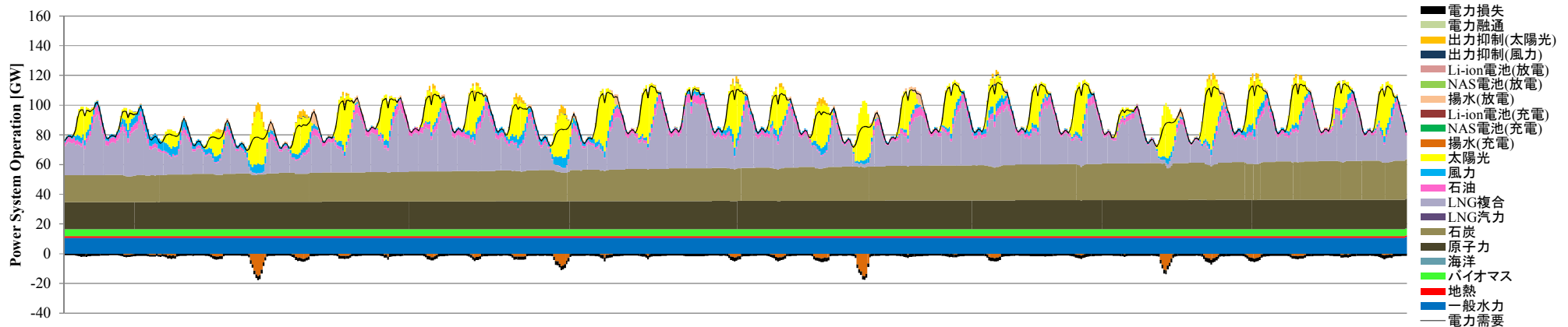


# + 【参考】 経済モデルと 電力系統運用モデルの統合

未公表資料につき、  
当日スライドで投影します。

# + 類似の国内類似研究 1

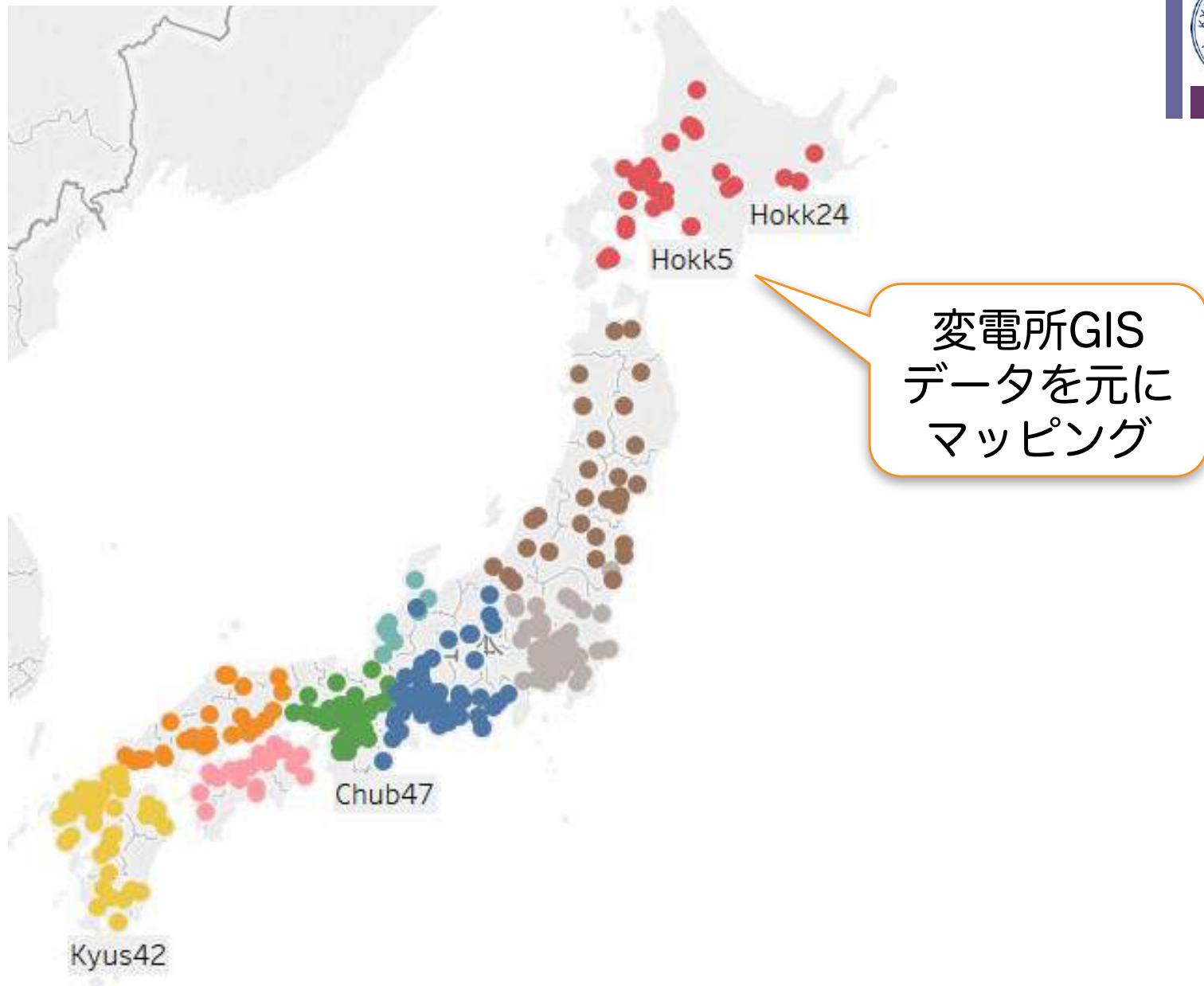
- 産業経済研究委託(東大藤井・小宮山研究室):  
電力需給モデルを活用したシミュレーション  
調査
  - 2030年再エネ22~24%シナリオ
  - 主要電力線166本を用いた電力需給モデル  
による潮流解析：時間解像度1時間



## + 類似の国内研究 2

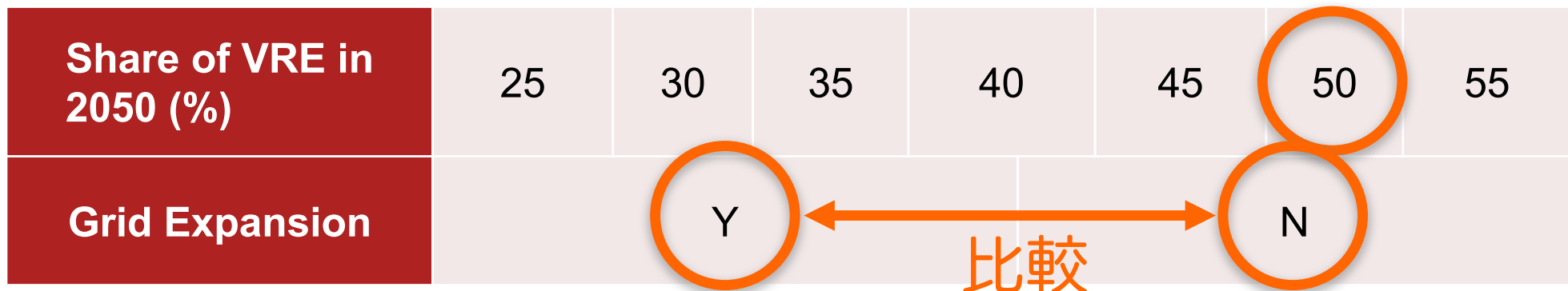
- **電力広域的運営推進機関**: 広域系統長期方針の策定について (2016)
  - エネルギー基本計画に即したVRE導入シナリオ
  - 送電線増強の費用便益分析
  - 北海道に送電線増強をする便益はない
- **安田(京大)・濱崎(富士通総研)**: TIMES-JMT Gridを用いた再生可能エネルギー大量導入長期シナリオによる送電線投資分析, 電気学会合同研究会 (2018)
  - 2050年までにVRE導入率50%シナリオ
  - 系統増強促進シナリオ
  - 投資額は500~1,500億円/年, 0.04~0.09円/kWh
  - VRE大量導入により約1.5円/kWhの純便益

# + JMRT-gridにおける変電所ノード



# + シナリオおよび外生的データ

- 風力等再エネ土地利用条件
  - 環境省: 平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査報告書 (2011)
- 再エネ&各種発電コスト
  - IEA: World Energy Outlook
  - 国家戦略室: コスト等検証委員会報告書 (2011)
- VRE (風力+太陽光) 導入シナリオ



# + 送電線投資額試算

29



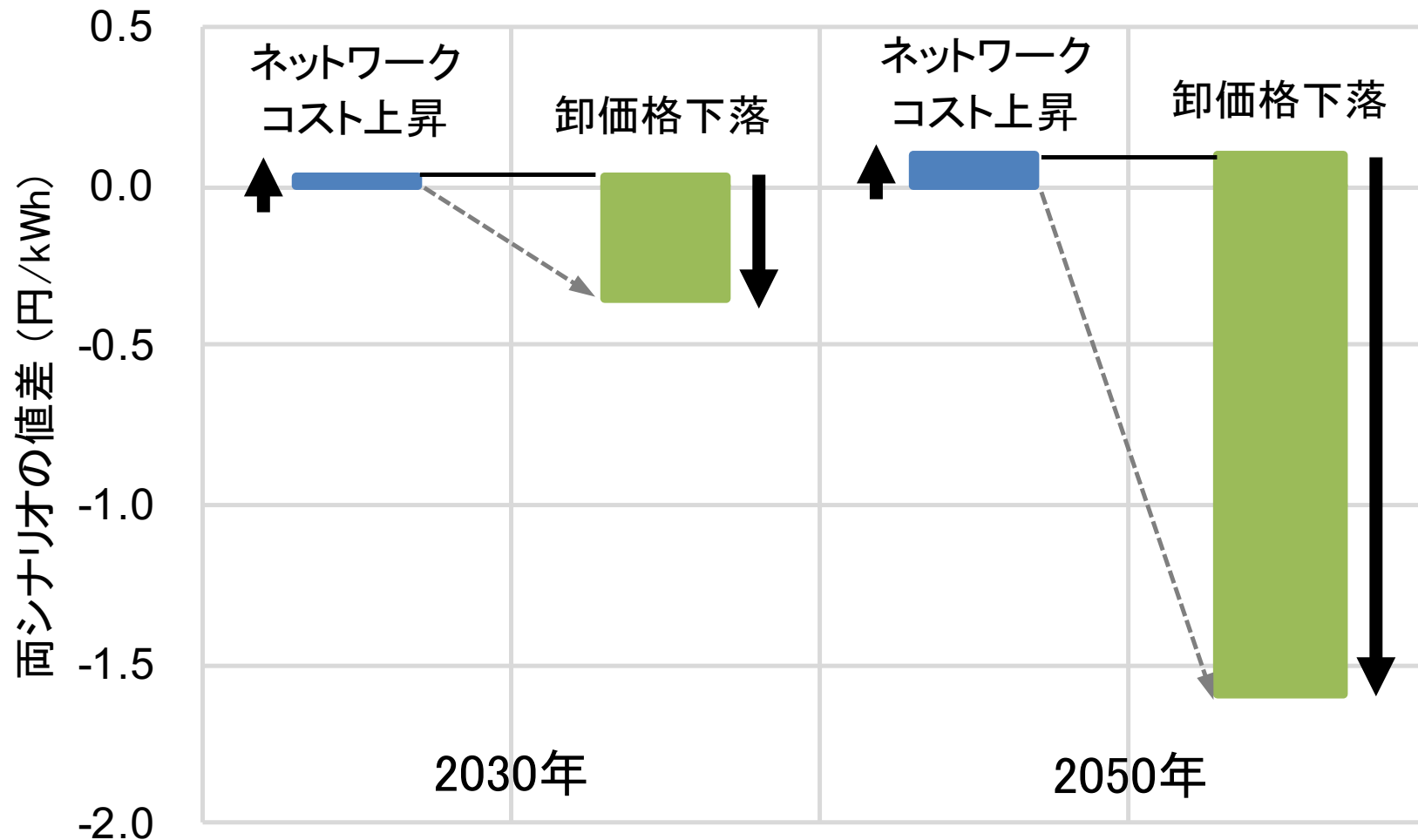
年	投資額	電力料金増分
2030年	438億円/年	0.036円/kWh
2050年	1,417億円/年	0.086円/kWh

(参考) ENTSO-E TYNDP2016

年	投資額	電力料金増分
2030年	€10 billion	€1.5-2.0/MWh



# + 送電線増強に対する費用便益分析



# + 海外の風力連系・送電研究の 注目すべきキーワード

再掲

- 費用便益分析 cost-benefit analysis
- シナリオ分析 scenario analysis
- 障壁研究 barrier study
- 社会技術モデル socio-technical model
- 容量クレジット capacity credit
- 系統価値（システム価値） system value



# 電力系統研究の 方向性について

ご清聴有り難うございました。

[yasuda@mem.iee.or.jp](mailto:yasuda@mem.iee.or.jp)

科研費基盤(A)

再エネ大量導入を  
前提とした  
分散型電力システムの  
設計と地域的な  
経済波及効果の研究  
部門A研究会