

エネルギーインテグレーションの研究

荻本和彦 特任教授
(生産技術研究所・電気系工学専攻)

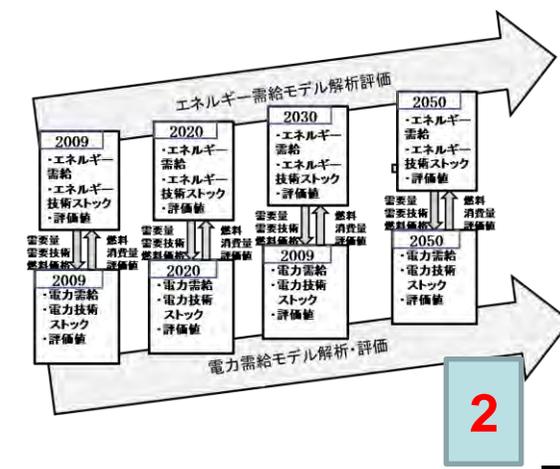
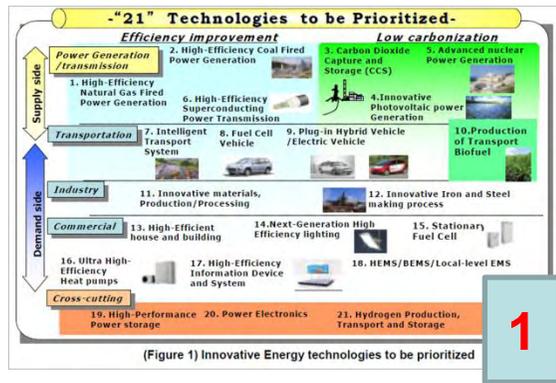
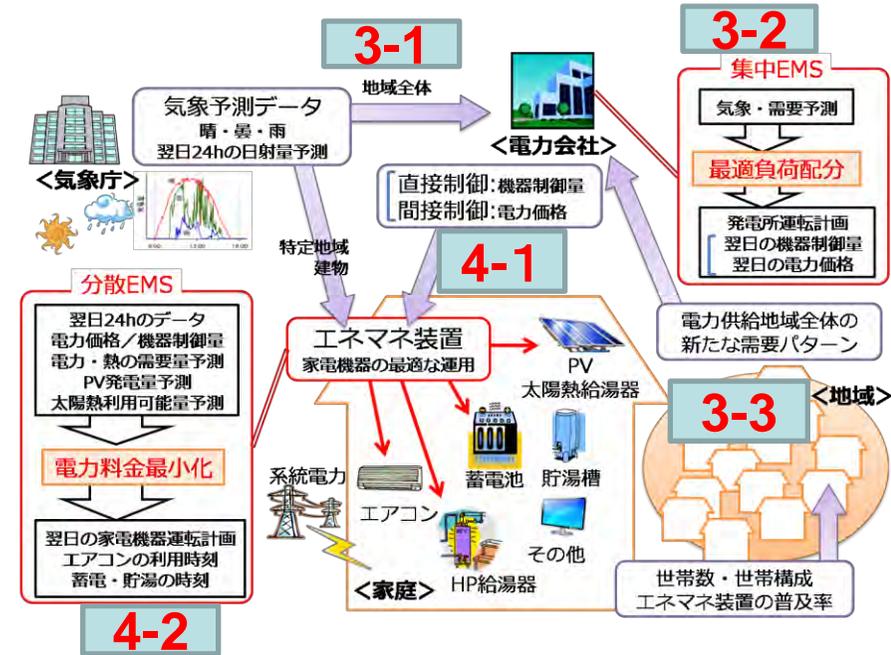
研究分野：エネルギー戦略，エネルギー需給解析・計画，電力需給解析・計画，再生可能エネルギー発電予測・運用，設備保全・運用

エネルギーインテグレーションとは

- エネルギーは、すべての人類の活動の基礎となるもの。エネルギーに対する制約は、人類の効用(経済活動、生活の質)のレベルに直結
- 将来のエネルギー需給構造を考える際には、資源制約、環境制約、技術や社会経済などの不確実性を視野に入れ、安定性と持続性を確保することが必要
- 長期的視野から真に持続可能なエネルギーの安定な需給構造を実現する鍵は、技術，制度，人間の対応の組み合わせ
- エネルギー技術，制度，ライフスタイルの確立・改善には、研究開発、導入・普及、関連インフラ整備，教育・研修など，長期性が顕著
- 実際の取り組みにあたっては、各種制約の時期・大きさ、それぞれの時点での社会システムの状況などによりさまざまな選択肢があり、技術，制度，人間の対応のそれぞれの役割には大きな多様性と不確実性が存在する。
- 持続的な社会を支えるエネルギー需給を最適なものとするために、技術，制度，人間の対応を最適に組み合わせることをエネルギーインテグレーションと呼び、様々な取り組みを効率的かつ効果的に進めるため、エネルギー技術，制度，人間の対応の将来の姿を描き、その実現に向けた各分野の戦略を策定する。

荻本研究室の研究項目

- 1 エネルギー技術戦略
- 2 超長期エネルギー/電力需給解析・計画
- 3-1 再生可能エネルギー発電予測
- 3-2 長期電力需要想定
- 3-3 電力システム需給運用
- 3-4 長期電力需給解析・評価
- 4-1 集中/分散のエネルギーマネジメントの協調
- 4-2 分散エネルギーマネジメント設計
- 5 設備リスク管理—アセットマネジメント—

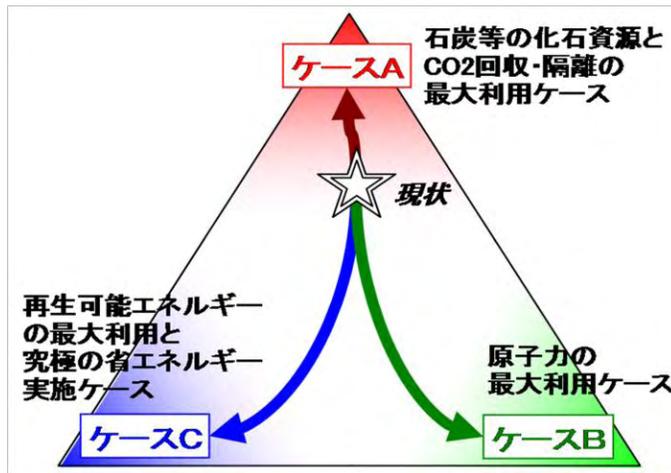


1. エネルギー戦略の策定研究

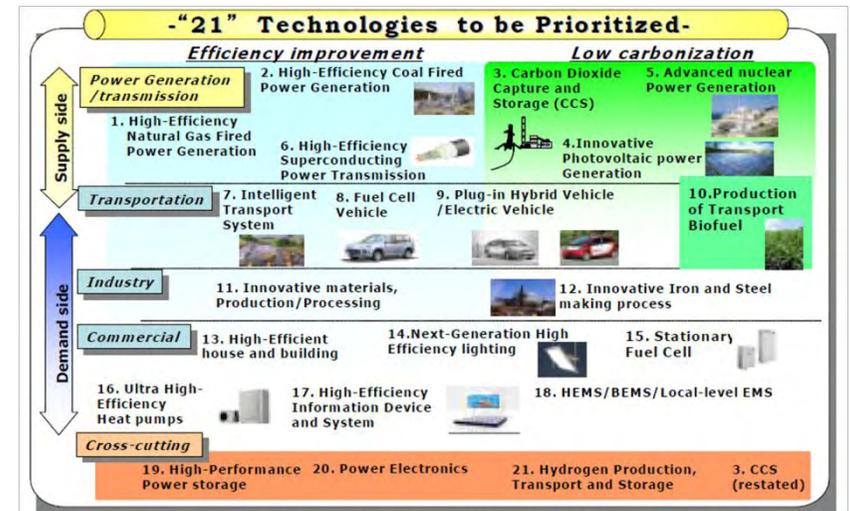
課題の概要：資源、環境などの制約の中で、経済性、信頼性/セキュリティなどを満足する持続的なエネルギー需給を実現するために必要となるエネルギー技術戦略を検討する。既存のエネルギーモデルを用いてエネルギー需給を解析し、量的バランスを確認しつつ、2030年、2050年などに向けた検討を行う。

進捗：資源エネルギー庁超期技術ビジョン(2005)では、2100の有るべき姿を仮置きし、そこからバックキャストし不確定要因のもとでのエネルギー技術戦略を策定した。エネルギー技術マップ(2006～)では、現在から2030年に向けたエネルギー技術のロードマップ策定を行っている。Cool Earth革新的エネルギー技術戦略から現在に至るエネルギー技術戦略検討においては、低炭素化とエネルギー安定供給を実現する技術戦略を検討した。

今後の展開：これまでに述べた諸研究と、CEEにおけるマテリアル、プロセス両分野の諸研究、CEEの外の諸研究とのコラボレーションにより、エネルギーシステムとしての技術戦略、エネルギー戦略を検討、策定する。



超長期技術戦略：不確定要因の包含



(Figure 1) Innovative Energy technologies to be prioritized

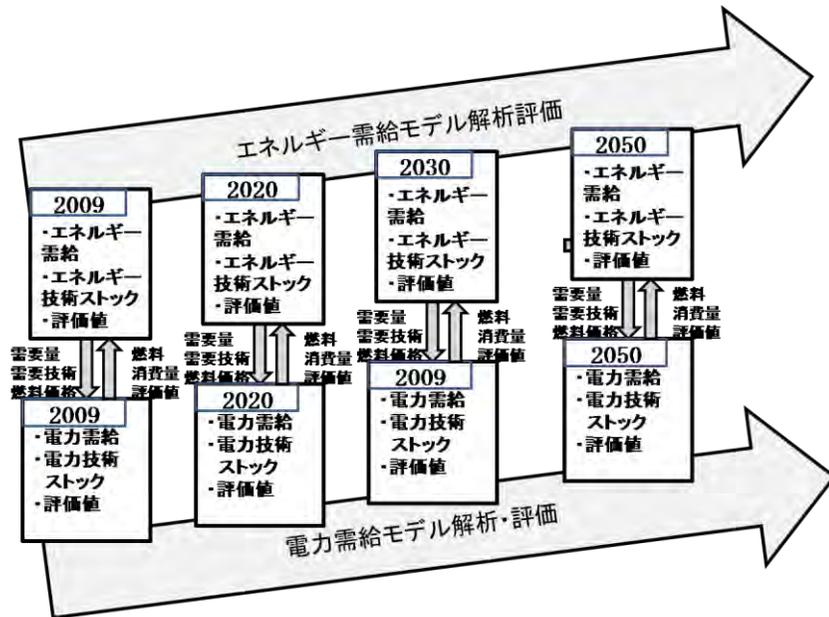
Cool Earth エネルギー技術革新計画 (2008)

2. 超長期エネルギー/電力需給解析・評価

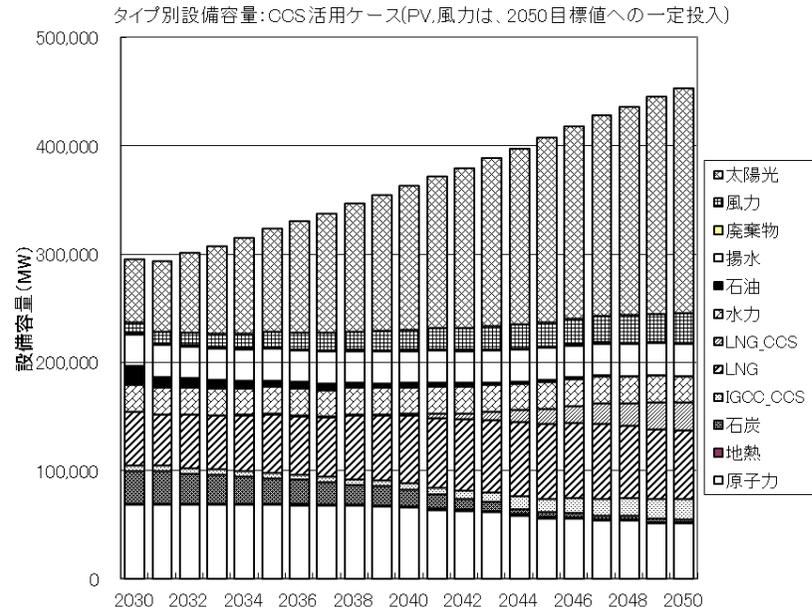
課題の概要：エネルギー需給の安定化、低炭素化を目指し、2030年を超え、2050年など従来よりはるかに長い期間を対象とし、再生可能エネルギーの導入、ヒートポンプや電気自動車などを始めとする将来のエネルギー需要、エネルギー貯蔵技術などエネルギー需給における新たな変化要素を含め、より視野の広いエネルギーモデルと同時同量など今後の再生可能エネルギー発電導入のカギとなる電力需給の解析・計画手法を連携した解析、評価の実践研究。

進捗：1つのエネルギーモデルと連携した解析を2030～2050について実施し、連携の方法論を検証した。エネルギーモデルから与えられた需要などの条件のもとで、予備率10%を条件に、太陽光発電と風力の導入シナリオのもとで、CCS最少ケースと、原子減少分をCCS付石炭火力と天然ガス火力で補ったCCS活用ケースの2ケースの電源シナリオを作成、評価した。

今後の展開：いくつかの課題を設定し複数のエネルギーモデルとの連携解析・計画を体系的に実施する。



エネルギー/電力需給解析モデルの連携



エネルギー/電力需給解析モデルの連携解析例

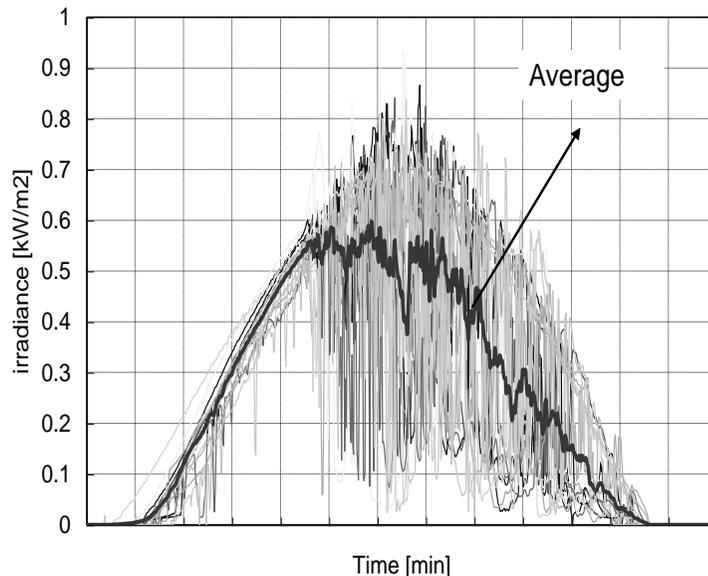
3-1 再生可能エネルギー発電予測

課題の概要：将来の太陽光発電など出力が天候に左右される再生可能エネルギーの大規模導入のもとでは、電力の需給運用のための広い地域の時間解像度の高い合計発電量、家庭の分散エネルギーマネジメントのためには空間解像度の高い1日などの合計獲得量の予測が必須である。

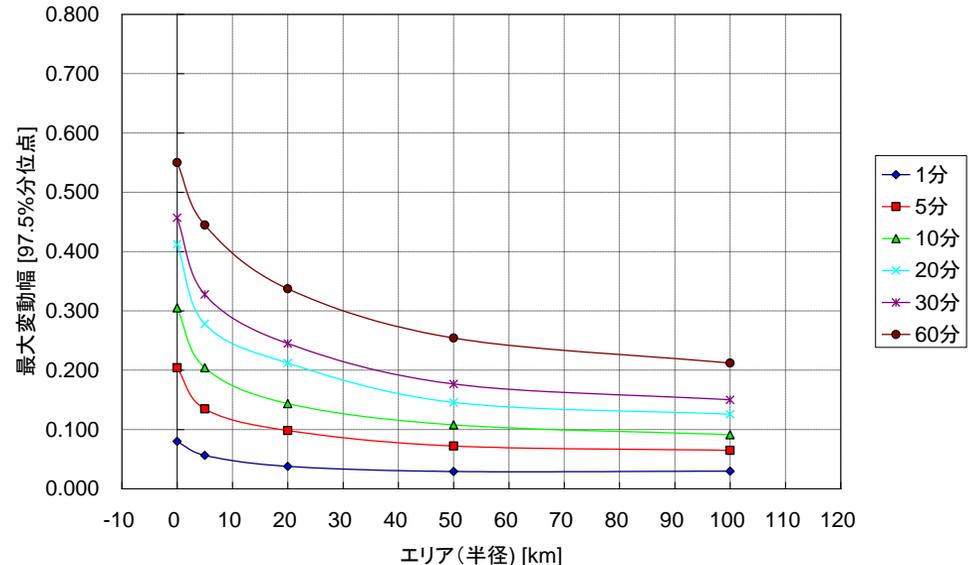
太陽光発電が建物の屋根などを中心とした小規模の多数の分散システムが広域に導入場合、合計の発電特性は「ならし効果」を考慮することで、予測精度・確度の大幅な向上が期待される。風力に関しても、同様の効果が観測、期待されている。この特性を分析し、予測の確度を上げることがポイント。

進捗：ボロノイ手法を用いた「ならし効果」を含めた発電量推定の考え方を考案し、太陽光発電の広域の合計発電量の発電量推定を実施。発電予測技術開発のための電力需給運用の視点からの必要精度を解析・評価する手法の開発を行った。またNEDO 太陽光発電量予測技術開発プロジェクト、電気学会調査専門委員会における調査活動において、気象予測機関、太陽光発電などの研究機関と連携した研究・調査に着手した。

今後の展開：既存および将来入手可能な実績の発電/日射データに基づき、再生可能エネルギー発電予測とその精度評価をプロジェクト、調査活動の中で精力的に実施する。



ならし効果の考え方：多数地点の平均値



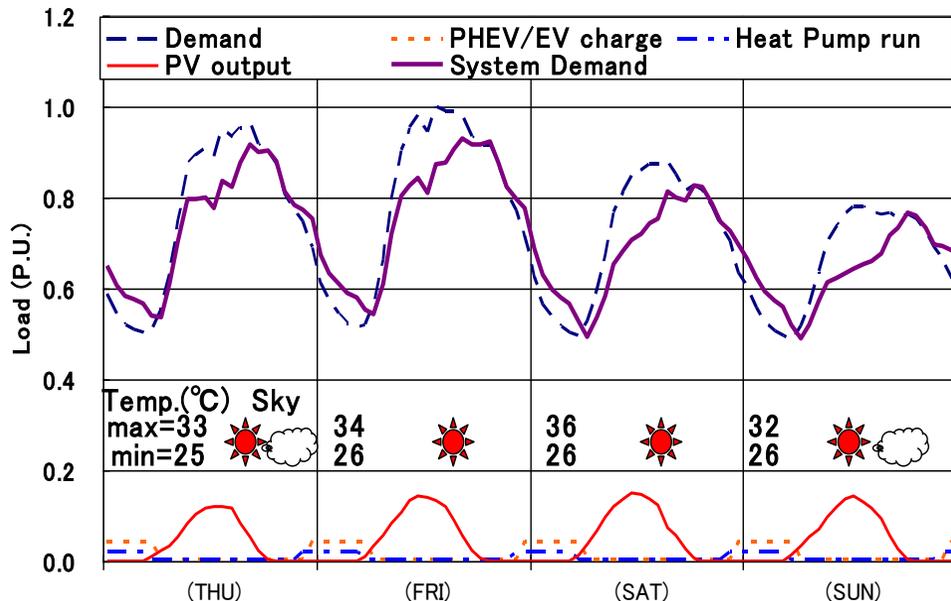
地域を拡大した場合のPV出力の変動の大きさ

3-2 長期電力需要想定

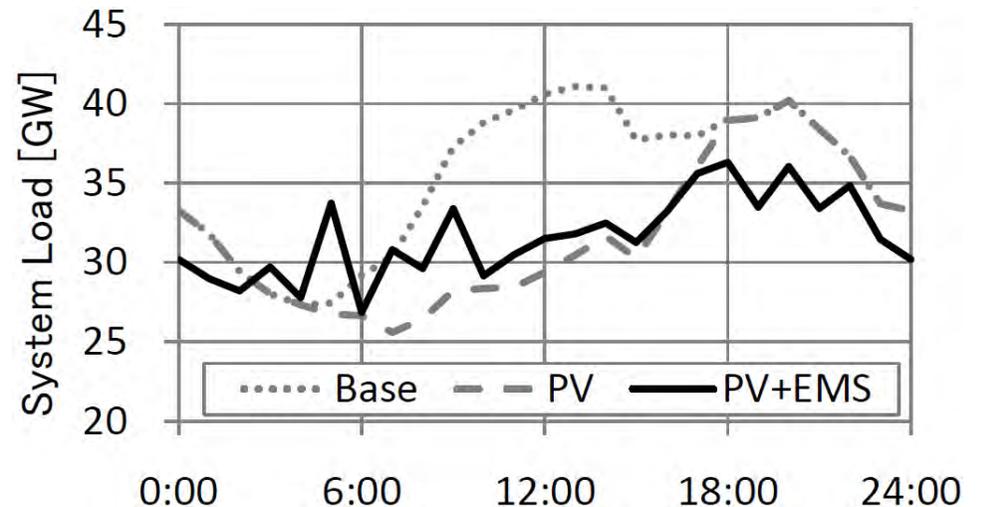
課題の概要：長期の電力需給においては、既存需要の省エネルギー化が進んでも、ヒートポンプ空調・給湯・加熱、プラグインハイブリッド/電気自動車に代表される新たな需要増加が見込まれる一方、PVを始めとする分散電源は系統電源から見た等価需要を大きく低減させる。また、貯湯槽付きヒートポンプ給湯、バッテリーなどはエネルギー貯蔵の機能を持ち、分散エネルギーマネジメント（HEMS/BEMS）により需要が能動化されると、電力システム全体の需要は大きく変化する。本研究では、これらの動的な需要特性とそれを形成する制度設計を含めた長期電力需要を想定する手法、計算コードの開発を目指す。

進捗：マクロな想定手法として、新しい需要の普及と気象、気温との相関に関する解析コードを開発し、能動化需要の需要調整効果については、基礎的な検討を行った。

今後の展開：短期限界費用に基づくインセンティブによる需要シフト・電力貯蔵活用などを含めた電力需要の長期想定の手法を研究し、解析コードを開発とそれを用いた長期電力需要想定の研究を行う。



長期電力需要想定(貯蔵性需要と分散電源出力)



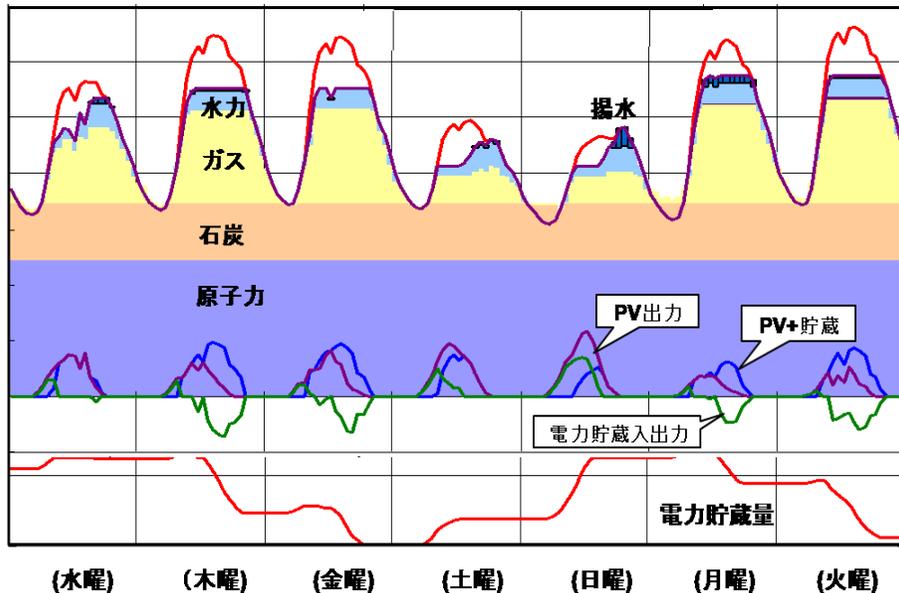
能動化需要による負荷曲線の変化例

3-3 電力システム需給運用

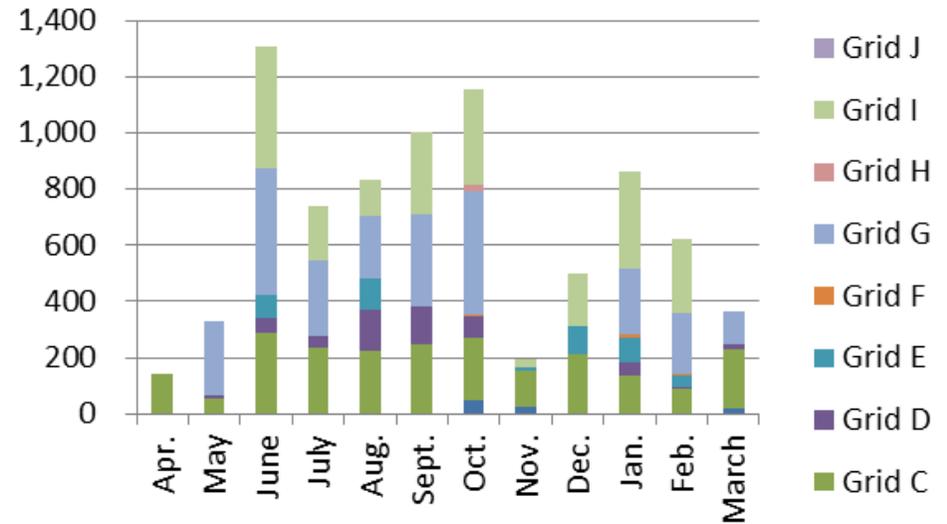
課題の概要： 将来の太陽光・風力発電の大規模導入による出力変動とベース電源の増加に起因する、電力システムにおける電圧変動、周波数変動、需給調整などの課題象を解析・評価し、系統側電源、需要反応、流通設備など各種技術を組み入れた電力システムの設備・運用計画の最適化を行う解析手法、運用計画の研究を行う。

進捗： 負荷持続曲線に基づく確率的経済負荷配分とこれに基づく電力需給解析・計画モデルに、ヒートポンプ給湯機、電気自動車、分散エネルギーマネジメントによる需要の能動化を組み込んだ手法を開発し、機能を検証した。

今後の展開： 再生可能エネルギー発電予測、各種のエネルギー/電力貯蔵技術の導入効果を的確に評価し、系統全体の視点での経済性の向上を目標にしたインセンティブ契約、ダイナミック電気料金などの制度を検討するために、これらを解析できる時系列の起動停止計画(Unit Commitment)、経済負荷配分などのモデルを順次開発し、解析・評価を行う。IEA PVPSプログラム Task14 (荻本はサブタスクリーダー)と連動した研究を進める。



再生可能発電を含む需給シミュレーション



需給調整力不足によるPV発電抑制時間

(系統必要調整力各時点需要の5%)

3-4. 長期電力需給解析・評価

研究課題：再生可能エネルギーの導入、新しい需給技術、ライフスタイルの変化ヒートポンプや電気自動車など将来の電力需要の変化、エネルギー貯蔵を可能とする需要技術など電力需給における新たな変化要素を含め、時系列解析と負荷持続曲線による確率的需給解析およびその他の手法を駆使した電力需給計画の解析・評価により、2030年などに向けた電力の設備計画を研究する。

進捗：2030年の需給解析として、政府の長期需給見通しやエネルギー基本計画などのベースシナリオに対し、需要増、燃料途絶、原子力停止などを想定したケース解析、CO2コストをパラメータとしたケース解析などを実施した。

今後の展開：解析・評価に基づき、エネルギー需給計画や電力需給計画に対する具体的な提言を行う。

表1 発電種別による発電電力量、停電電力量、停電日数の比較

ケース	ベース条件	擾乱条件	発電電力量(TWh)										EUE (%)	LOLP (日/年)	
			原子力	石油	石炭	LNG	火力計	地熱	水力	揚水	新エネ	合計			
A0	最大導入	-	469.4	24.9	132.2	153.7	310.9	7.5	81.1	揚水	4.3	89.6	962.8	0.000	0.00
A1	最大導入	上ブレ	468.9	125.3	147.3	275.4	547.9	7.5	81.1	2.7	89.6	1,197.7	0.012	1.89	
A2	最大導入	LNG50%途絶	469.5	75.1	133.7	102.3	311.1	8.9	82.2	5.0	89.6	966.4	0.000	0.00	
A3	最大導入	LNG100%途絶	469.2	171.0	144.2	0.0	315.3	8.8	82.8	9.0	89.6	974.6	0.189	4.45	
A4	最大導入	PWR停止	284.8	116.0	147.5	230.4	493.8	7.5	81.7	3.2	89.6	960.6	0.171	15.58	
A5	最大導入	BWR停止	184.6	153.3	162.5	275.2	591.0	7.5	82.2	7.7	89.6	962.4	0.611	10.49	
B0	2020年火力設備横置き	-	469.5	32.4	169.3	111.5	313.1	7.5	81.1	6.2	89.6	967.0	0.000	0.00	
B1	2020年火力設備横置き	上ブレ	469.4	83.5	180.7	281.6	545.8	7.5	81.1	1.3	89.6	1,194.6	0.000	0.01	
B2	2020年火力設備横置き	LNG50%途絶	469.5	42.5	168.1	100.7	311.3	8.9	82.2	6.0	89.6	967.5	0.000	0.00	
B3	2020年火力設備横置き	LNG100%途絶	469.7	136.2	177.8	0.0	314.0	8.8	82.8	8.2	89.6	973.1	0.001	0.14	
B4	2020年火力設備横置き	PWR停止	284.9	101.0	187.3	207.1	495.3	7.5	81.6	2.9	89.6	961.8	0.003	1.04	
B5	2020年火力設備横置き	BWR停止	184.6	111.9	199.3	281.7	592.9	7.5	82.2	4.5	89.6	961.3	0.027	0.61	

表2 発電種別による燃料消費量、CO2発生量、稼働率、燃料費の比較

ケース	ベース条件	擾乱条件	燃料消費量			CO2発生量				稼働率			燃料費			
			石油 (Mkl)	石炭 (Mton)	LNG (Mton)	石油 (Mton)	石炭 (Mton)	LNG (Mton)	合計 (Mton)	石油 (%)	石炭 (%)	LNG (%)	石油 (兆円)	石炭 (兆円)	LNG (兆円)	合計 (兆円)
A0	最大導入	-	6.2	43.8	20.8	17	106	56	179	9	59	42	0.6	0.8	2.7	4.0
A1	最大導入	上ブレ	32.2	48.7	37.8	88	117	102	307	44	65	75	3.1	0.9	4.9	8.9
A2	最大導入	LNG50%途絶	19.2	44.3	13.9	53	107	37	197	26	59	58	1.8	0.8	1.7	4.3
A3	最大導入	LNG100%途絶	43.3	47.6	0.0	118	115	0	233	60	65	0	4.2	0.9	0.0	5.0
A4	最大導入	PWR停止	30.4	48.8	31.9	83	118	86	287	40	67	63	2.9	0.9	4.2	8.0
A5	最大導入	BWR停止	37.9	53.6	37.6	104	129	101	334	54	72	75	3.7	1.0	4.9	9.5
B0	2020年火力設備横置き	-	8.0	56.5	15.1	22	136	41	198	12	60	26	0.8	1.0	1.9	3.7
B1	2020年火力設備横置き	上ブレ	20.9	60.2	39.1	57	145	105	308	30	64	65	2.0	1.1	5.1	8.2
B2	2020年火力設備横置き	LNG50%途絶	10.5	56.1	13.8	29	135	37	201	16	59	41	1.0	1.0	1.7	3.8
B3	2020年火力設備横置き	LNG100%途絶	34.1	59.2	0.0	93	143	0	236	49	63	0	3.3	1.1	0.0	4.4
B4	2020年火力設備横置き	PWR停止	26.3	62.4	29.1	72	150	78	301	36	67	48	2.5	1.1	3.8	7.4
B5	2020年火力設備横置き	BWR停止	27.7	66.3	39.1	76	160	105	341	41	70	65	2.7	1.2	5.1	9.0

4-1. 集中/分散のエネルギーマネジメントの協調

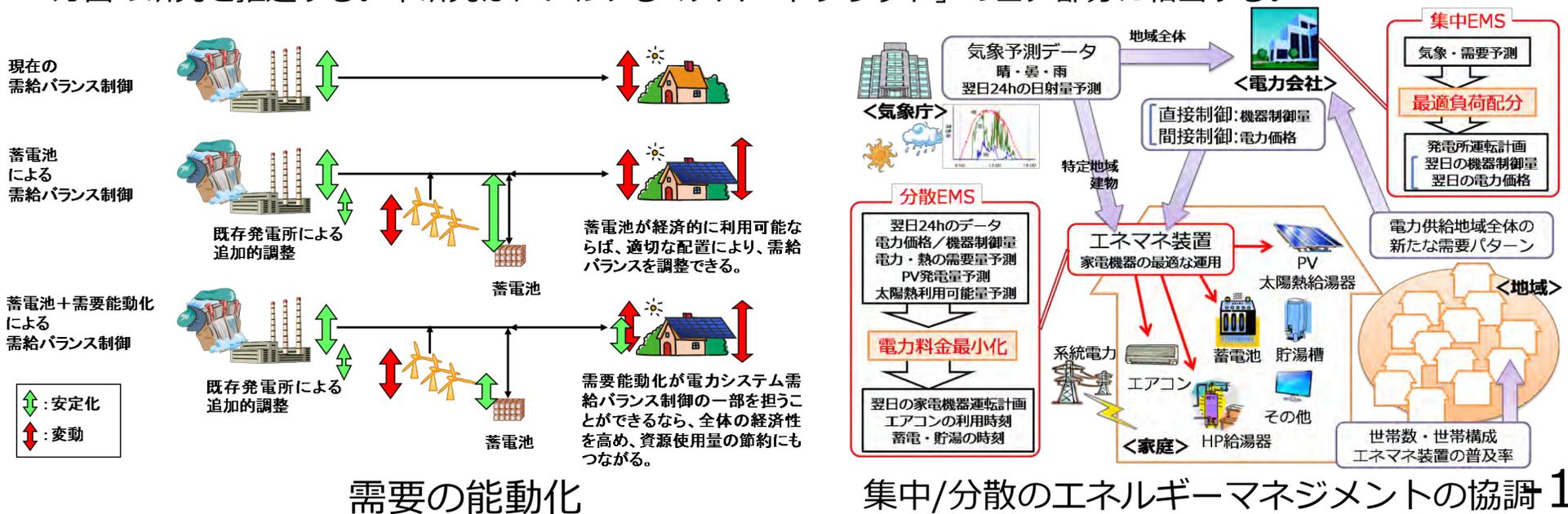
課題の概要：民生部門などにおけるエネルギーサービス水準の維持・向上，経済性環境性の向上，再生可能エネルギーの大規模導入のための自律協調を同時達成する，分散エネルギーマネジメントシステムを構築する。

ここでいう協調とは、貯蔵が困難な電力システムの需給調整力の確保のため，集中エネマネと協調した分散エネマネによりエネルギー貯蔵要素、需要機器制御などを活用(需要の能動化)、さらには既存エネルギーシステム（ネットワーク）側の電圧、周波数などの品質維持も分担することをいう。

進捗：環境省の環境総合推進費による研究(2009-2010)により、再生可能エネルギーの基礎的な発電特性分析、家庭に設置する分散エネルギーマネジメントの基礎検討、家庭のエネルギー消費の基礎解析、再生可能エネルギーの大規模導入時のシステムの課題および対策の解析などにより集中/分散の自律協調EMSの大枠を構築した。

資源エネルギー庁の次世代送電網実証事業による集中/分散エネマネの研究(2010-2012)、NEDO太陽光発電量予測技術開発(2010-2012)などに着手した。

今後の展開：駒場の実証試験住宅、資源エネルギー庁、NEDOなどのプロジェクトに自主研究を組み合わせ、多方面の研究を推進する。本研究は、いわゆる「スマートグリッド」のコア部分に相当する。



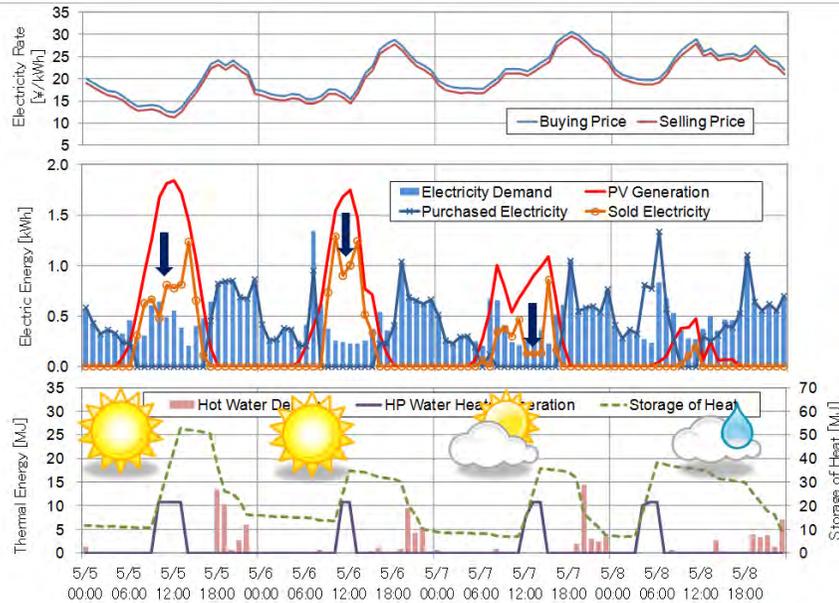
4-2. 分散エネルギーマネジメント設計

課題：再生可能エネルギーの大規模導入ベース電源の高効率運転のため、電力システムの需給調整力が不足する課題の解決方法として、既存の発電所や集中/分散のエネルギー貯蔵要素による調整力だけでなく、各家庭における需要機器の制御による調整力を確保することも重要である。

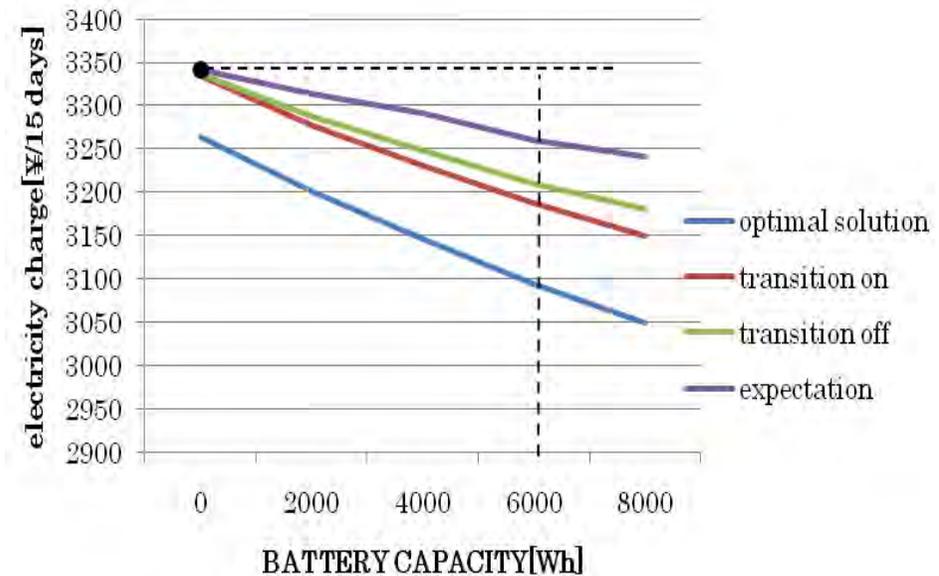
今後導入の拡大が期待されるヒートポンプ給湯やプラグインハイブリッド/電気自動車、家庭用蓄電池などの機器運転制御を行う分散エネルギーマネジメントシステムの検討を行う。

進捗：集中/分散エネルギーマネジメント全体の可能性の研究については環境省予算で2009-2010で実施中。

今後の展開：集中エネルギーマネジメントと分散エネルギーマネジメントの役割分担の研究、評価を行い、分散エネルギーマネジメントの設計およびその需給バランス調整力の評価を行う。また、分散エネルギーマネジメントによる調整力を確保するのに必要な家庭へのインセンティブについても定量的な評価を行う。



集中/分散エネマネによるヒートポンプの運転時間帯の変化
(混合整数計画法によるスケジューリング例)



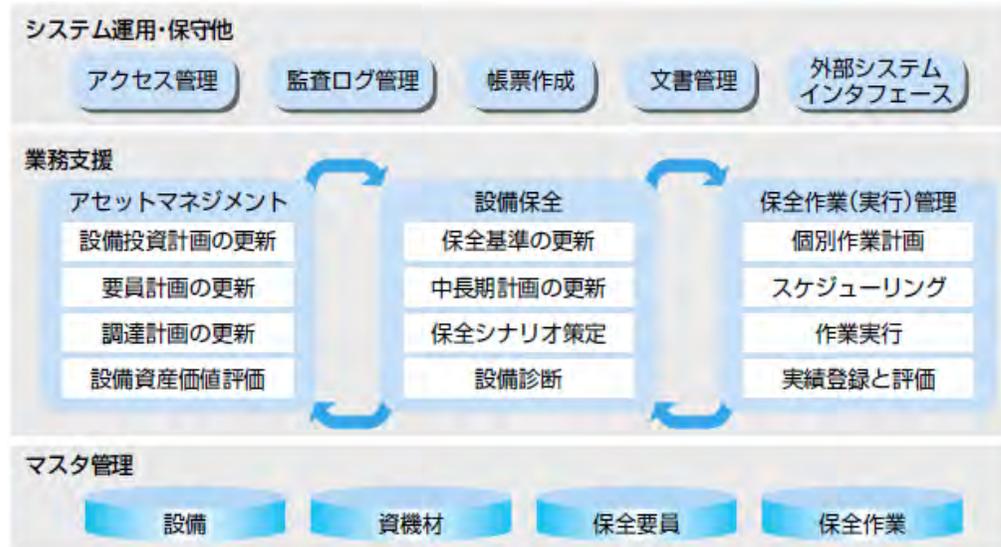
エネルギーマネジメント装置の実装法検討
(確率的動的計画法の学習内容によるコストダウン比較)

5. アセットマネジメント

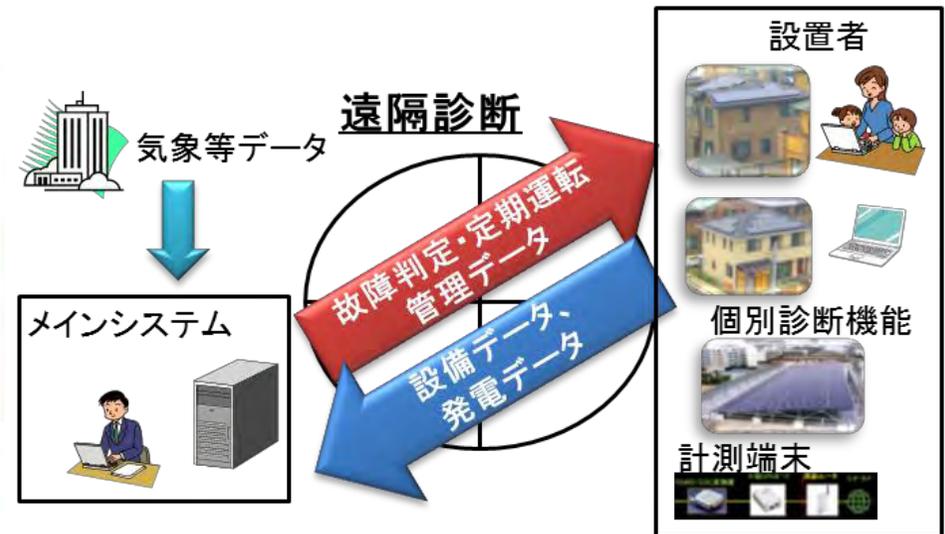
課題：日本の装置産業や社会インフラの多くで経年劣化が進み、ベテランの経験と勘に依存した施設・設備の保全ではコストダウン、危機管理などの対応に限界が見える。アセットマネジメントでは、「かける」コストと効果を比較し、優先度の高い保全を効率的実施とリスク管理により、設備のライフサイクルにおける利益の最大化を目指す。さらに、アセットマネジメントでは、目標の達成度を測る指標を設け、設備保全の計画や作業を実施し、結果を測定してさらにより保全を行なうという活動を継続する。

進捗：プラント保全に関わりの深いメンバーによる研究会活動により、内外のエンタープライズアセットマネジメント(EAM)の動向を調査し、解説本を出版した。また、今後多数導入が想定される太陽光発電の遠隔故障管理システムの開発に着手した。

今後の展開：新たなメンバーを募集し、研究会活動を活発化させ、アセットマネジメントに関する海外の規格基準の動向の分析や分野ごとのより具体的な検討などに取り組むとともに、ICT技術と人間系を有機的に組み合わせた設備リスク管理の研究を行う。



定常時の業務の保全業務の構成



突発事故時の即応体制