

環境・エネルギーDX ～気象・防災から電力システムまで～

2020年9月28日～11月30日

環境・エネルギーユニット 松村 郷史



国立研究開発法人科学技術振興機構 研究開発戦略センター
Center for Research and Development Strategy Japan Science and Technology Agency

「前半の話題」

気象・防災分野のデータ活用

- ・科学的な天気予報『数値天気予報』の歴史
 - － 膨大な計算と不確かさへの科学の挑戦
- ・洪水防災のためのダム事前放流への応用検討

感覚や経験だけに頼った天気の詳細

古代～近世：観天望気や経験、言い伝え（ことわざ）

雲や空色などの自然現象や生物の行動から天気を予想

・「朝焼けは雨、夕焼けは晴れ」

・「猫が顔を洗うと雨」



科学的な天気予報『数値天気予報』の提案

1904年頃～：物理法則に基づいた天気予報のアイデア

流体力学の応用は理想気体ではなく
現実の大気である

物理法則の方程式を計算すれば理論的な予報が可能な筈

ヴィルヘルム・
ビヤークネス
(ノルウェー、
1862～1951年)

- 熱力学方程式（＝エネルギー保存の法則） $\frac{\partial \theta}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + w \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + H$
- 連続の式（＝質量保存の法則） $\frac{\partial \rho}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) - \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)$
- 気体の状態方程式 $P = \rho R T$
- 水蒸気の輸送方程式 $\frac{\partial q}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + w \frac{\partial q}{\partial z} \right) + M$
- 流体の運動方程式（東西・南北・鉛直の3方向）

たいへん煩雑で、膨大な計算量

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} &= - \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) + 2\Omega \sin \phi v - \frac{\partial p}{\rho \partial x} + F \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= - \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) + 2\Omega \sin \phi u - \frac{\partial p}{\rho \partial y} + F \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= - \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) + 2\Omega \sin \phi w - \frac{\partial p}{\rho \partial z} + F - g\end{aligned}$$

数値天気予報における大きな 2 つの課題

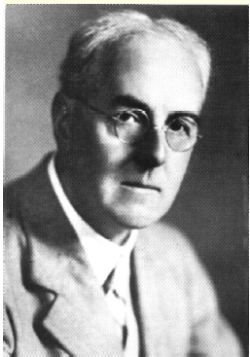
1922年：リチャードソンの夢

リチャードソンは当時入手できた観測値や気象の知識を用いて、

6時間後の気象の変化を約 6 週間かけて、手計算した。

⇒実際には気圧の変化はほとんど無かったが、145ヘクトパスカルも変化する計算結果で予報としては明確に外れた。

しかし、計算そのものに単純な間違いは見当たらなかった。



64000人のプロが一斉に計算すれば、実際の時間と同じ速さで将来の気象を予測計算できる筈だ。

課題①膨大な計算に時間がかかる。

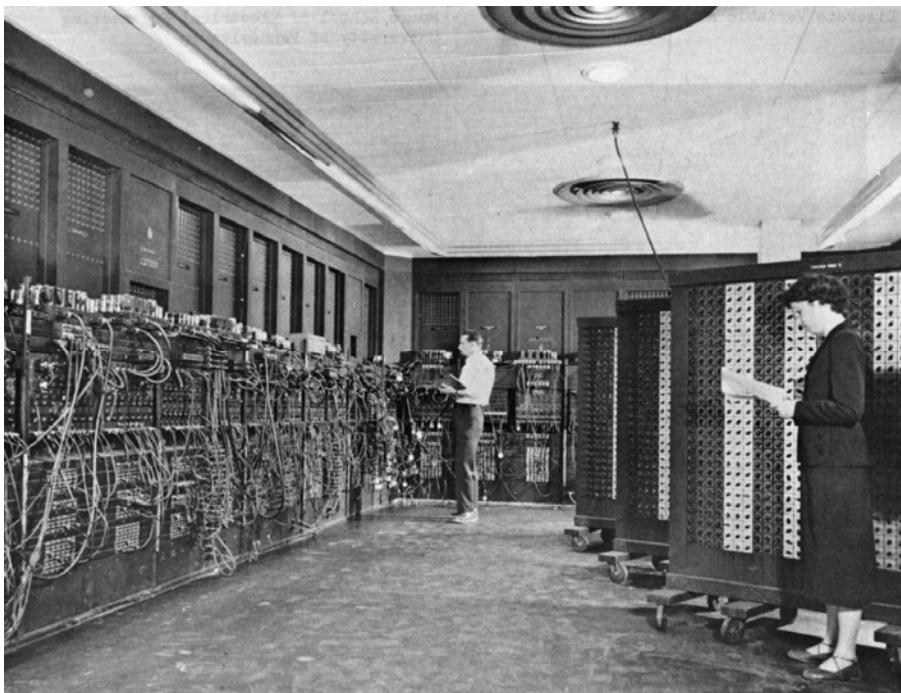
課題②正しく計算したが結果が外れた。

ルイス・フライ・リチャードソン
(英国、1881～1953年)

膨大な計算を正確、迅速に行う強力な道具

1950年：数値天気予報の最初の成功

大型計算機ENIACの登場



• ENIACは第2次世界大戦中に、米軍が大砲の弾道を計算するために開発した当時のスパコン。完成時にはすでに終戦していて、気象学に利用可能だった。

さらに、

- 理論研究も進展： 大気を格子に区切る計算での時間間隔の制約であるCFL条件が発見されていた。
- 観測技術、航空技術も進展： 1920年代よりも大気上層の正確な観測値が得られ、ジェット気流やロスビー波の知見も広がっていた。

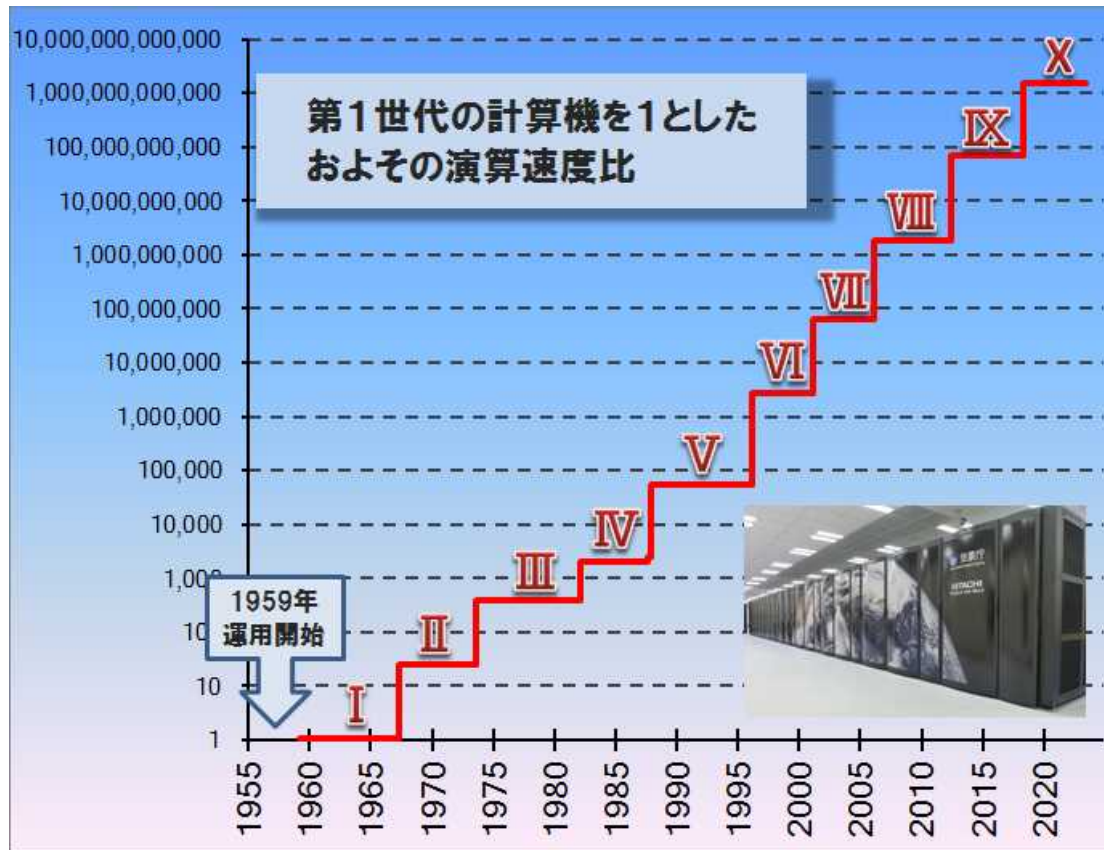
⇒ ENIACで24時間計算し、24時間後の数値天気予報に成功

リチャードソンの課題①膨大な計算に時間がかかる。

⇒ 大型計算機やAIの性能向上で解決の道筋が見えた

我が国の数値天気予報スパコンの進展

気象庁のスパコンの性能向上



(図出典) 気象庁HP

<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-2.html>

1950年、数値天気予報の初成功

ENIACの計算速度 300 FLOPS
(FLOPSは計算速度の単位)

1955年、米国で数値天気予報が開始

1959年、日本で数値天気予報の検討開始

第1世代 数値解析予報システム

計算速度 12000 FLOPS

(ENIACの40倍相当)

2018年、第10世代 数値解析予報システム

計算速度 1京8千兆FLOPS

(ENIACの約60兆倍)

計算が合わない本質的な理由の科学的発見

1960年：大気のカオス性の発見

初期値鋭敏性； 最初の値がごく僅か違うだけで、将来の結果が大きく変わる

自然法則に従う決定論的な現象でも、長期の未来の確実な予測はできないことが理論的に示された。

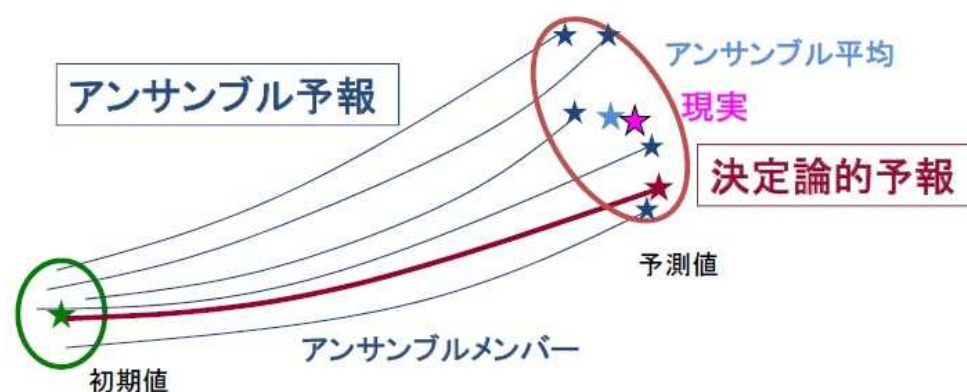
- 計算の不確かさ：✓ 計算量の限界から、近似値や近似式を用いざるを得ない。
✓ 大気を模した格子モデルの細かさ（解像度）にも限界がある。
- 観測の不確かさ：✓ 観測値は時間的、空間的にまばらにしか得られない。上空や海洋上などの観測空白域では観測値による補正（データ同化）ができず、誤差が拡大していく。
✓ きわめて精密な観測でも、きわめて僅かな測定誤差がある。 など

リチャードソンの課題②正しく計算したが結果が外れた。

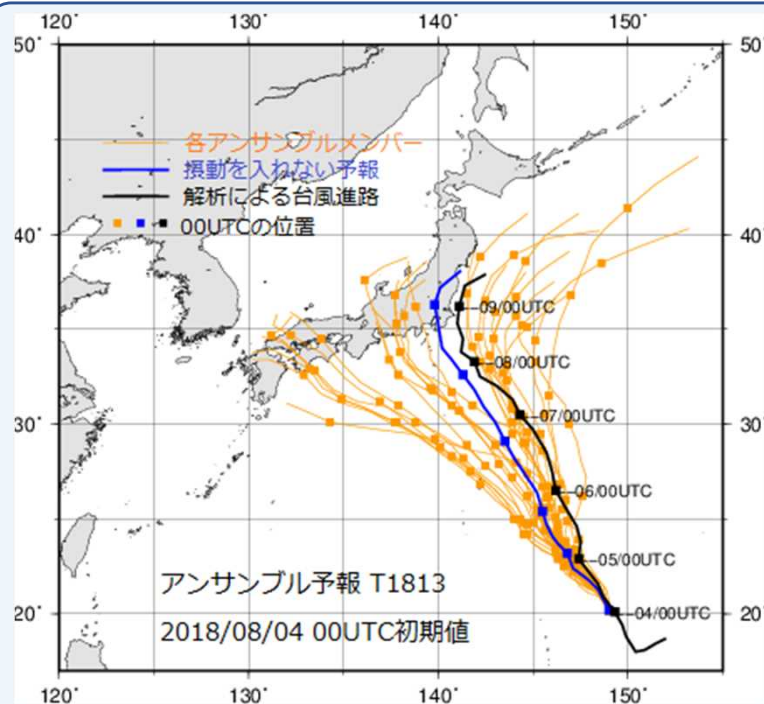
⇒ 本質的な理由がわかった。では解決策は無いのか？

カオス性に対応した確率論的な予報

現在 ; アンサンブル (統計集団) 予報



- 意図的に誤差も含め、複数の初期値などで計算。幅を持った予測値群を取得。
- 予測値の分布から、偏りや信頼度などを専門家が分析に活用。最悪シナリオの想定にも利用。



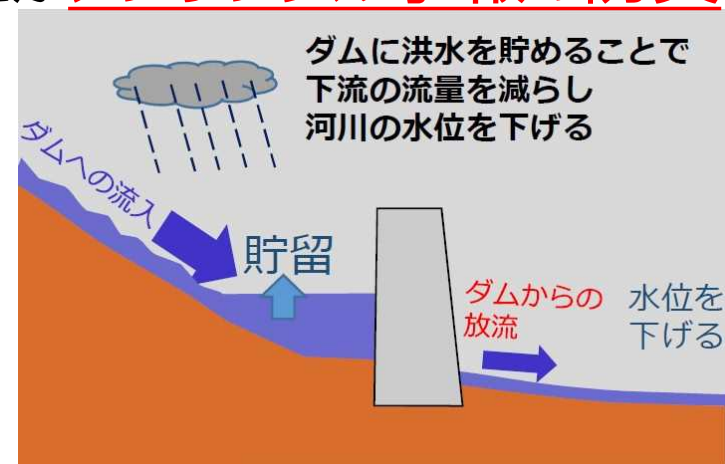
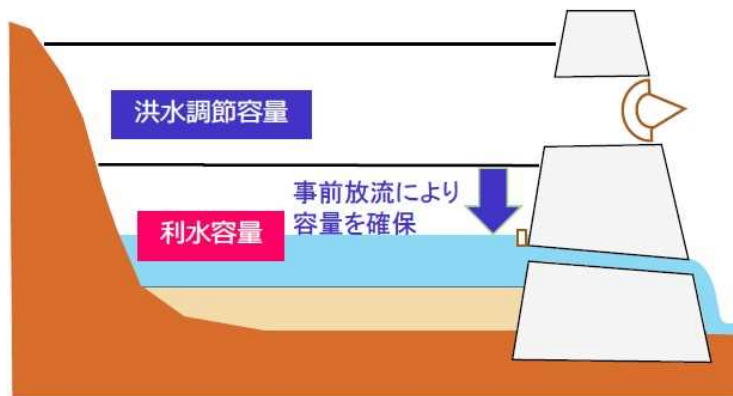
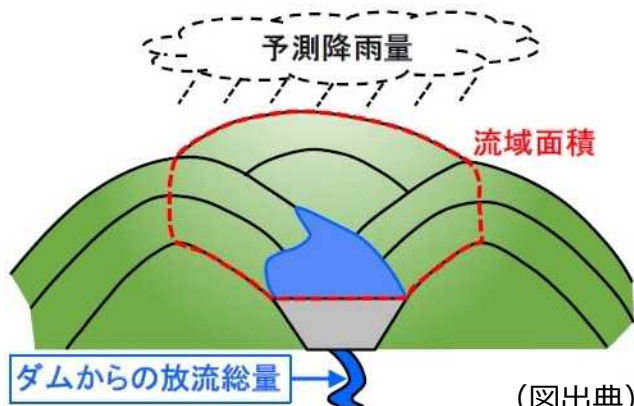
- 全球規模のアンサンブル予報は台風の進路予測などに活用されている。
- 2019年6月から、メソスケールと呼ぶ中規模のアンサンブル予報も公開されている。
- 線状降水帯などの局地的な集中豪雨をより早く予報するため、局地のアンサンブル予報も将来の課題として検討されている。
- 現業のアンサンブルメンバーは数10から100。最先端のスパコン富岳ではメンバー数を1000にした実験が実施されている。

(図出典) 気象庁HP <https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/whitep/1-3-8.html>

洪水防災へのアンサンブル予報の応用

現在；ダム事前放流への適用の検討

- 事前放流は洪水被害の緩和のため、洪水調節容量を超えた利水容量も、豪雨の前に放流する非常時操作。後日、水位回復させる義務がある。
- 事前放流のためには的中精度が高く、リードタイムが長く、極値の予測性が高い降雨予測が望まれ、内閣府SIPで京都大学などがアンサンブル予報の防災応用を研究している。



(図出典) 国土交通省HP https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/damchousetsu_kentoukai/index.html

- ほかにも降雨の衛星データと河川の水文学データとを連携したJAXAと東京大学の「Today's Earth」や、熊本市が損保ジャパンなどと協力して取り組んでいる都市デジタルツイン構築、AI活用による防災システムなど、注目される研究開発が進んでいる。

(参照) 東京大学生産研究所プレスリリース <https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/news/3193/>

(参照) 損害保険ジャパン日本興亜株式会社ニュースリリース

https://www.sompo-japan.co.jp/~media/SJNK/files/news/2018/20190325_1.pdf

「後半の話題」

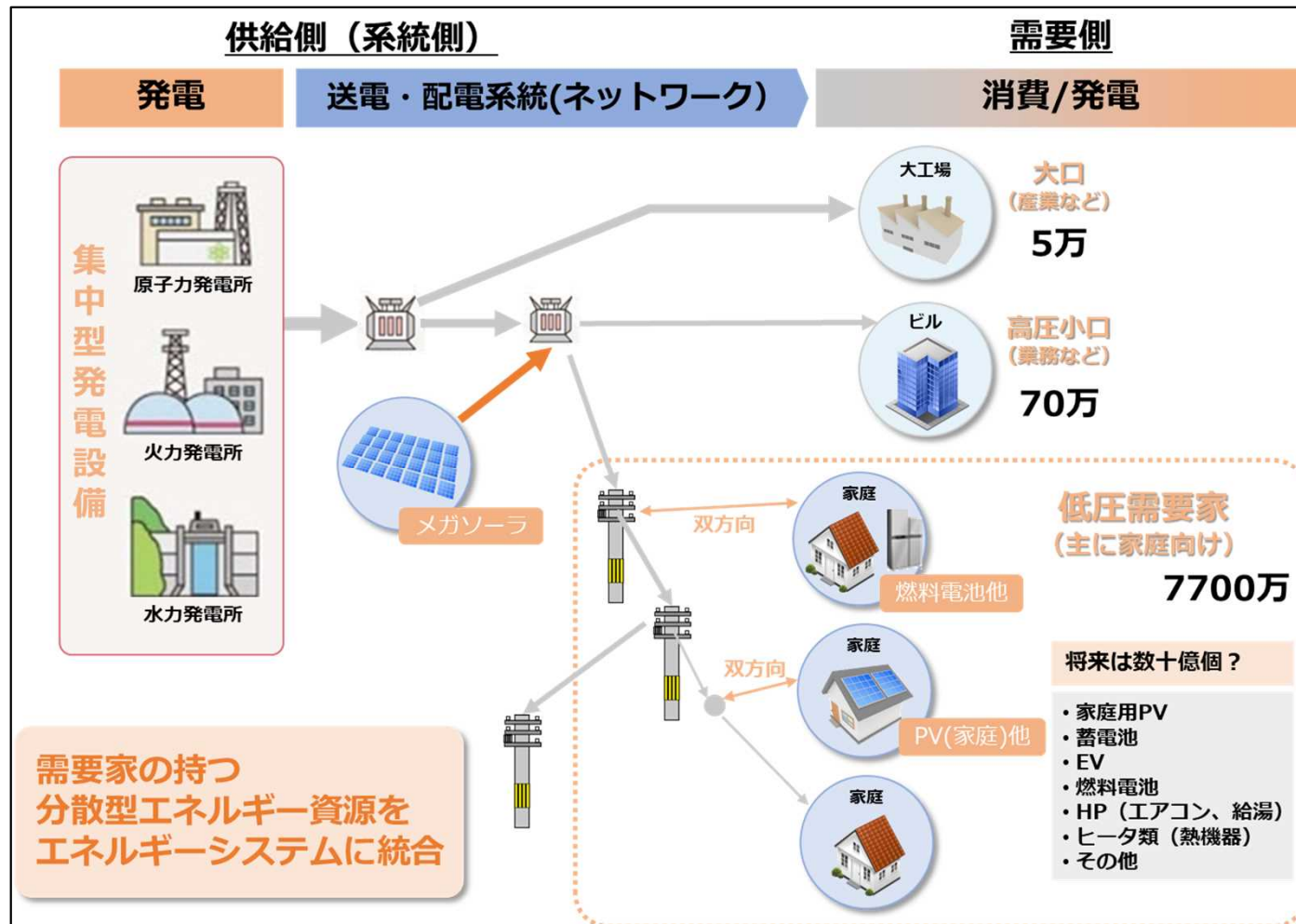
～電力システム分野のデータ活用～

- ・分散型エネルギー普及で変わる電力エネルギーの流れ
電力の流れが複雑化
ハードとソフトの両面からのデジタル制御の検討
- ・電力需要データの安全で適正な取得管理と活用

変わりゆく電力エネルギーの流れ

電力システムの双方化・複雑化

太陽光発電など分散型エネルギー機器の導入拡大で、従来の電力消費者（コンシューマ）が発電者（プロバイダ）も兼ねたプロシューマに変化。



- ・プロシューマの増加などを背景に、電力の流れが一方向から双方向に変わり、複雑化。
- ・大規模停電を避けるため、電力システムは電力需要量と供給量を常に一致させる必要がある（同時同量）。
- ・電力の需給バランス調整のため、IoT機器などのデジタルデータ活用技術が注目されている。

電力システムの双方化・複雑化への対応策：ハード面

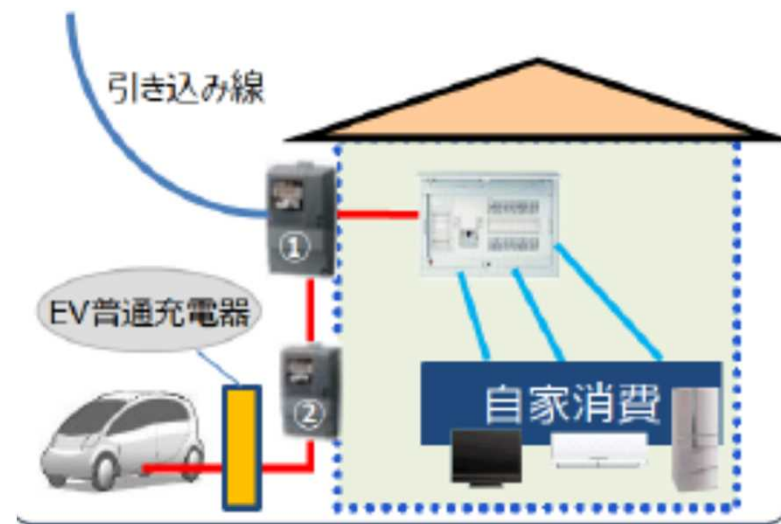
IoT機器スマートメータの活用



- 30分ごとに自動で電力を計測・通信する機能
- 国内全ての電力メータを2024年までにスマートメータに交換予定
- 地域、時間ごとの電力需要量の予測精度を高められ、発電計画の検討に貢献（安定的な電力システムの維持）。

デマンドレスポンス（消費者の電力調整参加）

- 電気料金設定やインセンティブによって、外部から需要家側のエネルギー機器を制御（自家消費機器の制御、電気自動車の充電を活用）
- 需要家のエネルギー機器を大量に制御し、発電も含めた制御を行うバーチャルパワープラント（仮想発電所）も検討されている。



（図出典）経済産業省HP

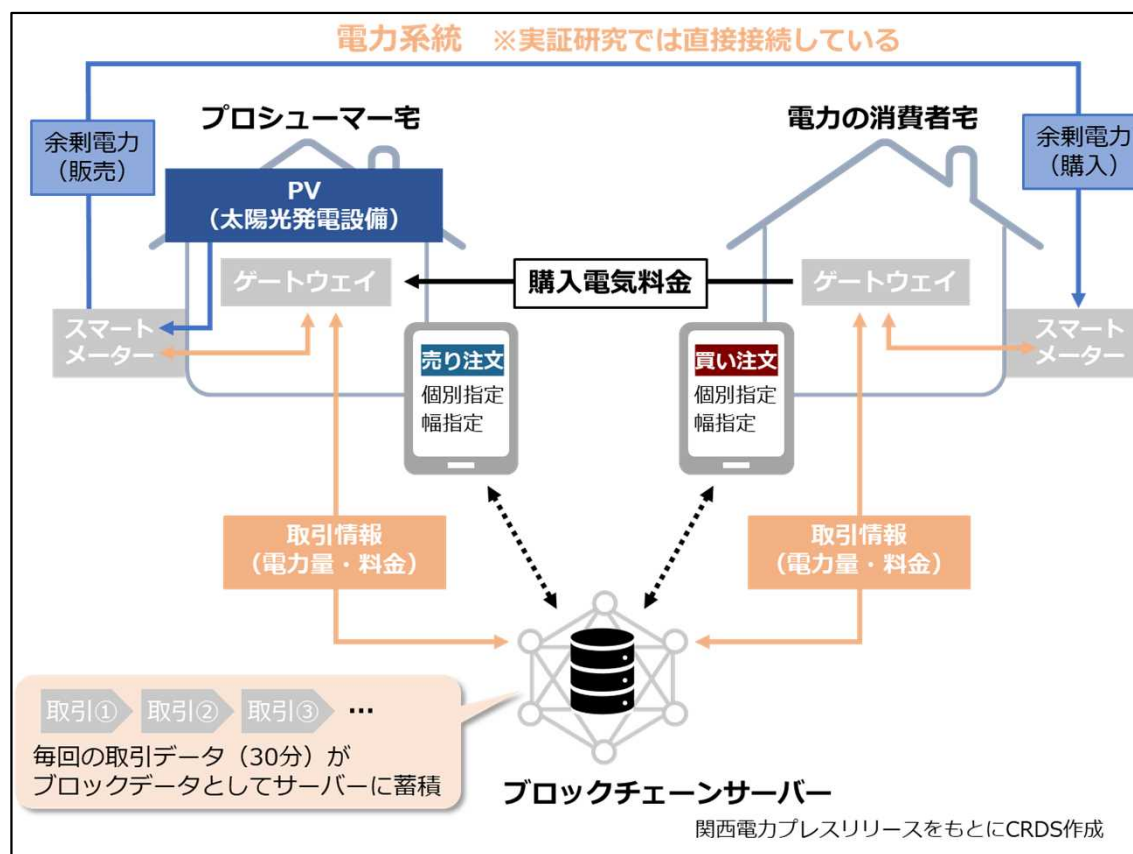
電力システムの双方化・複雑化への対応策：ソフト面

電力取引へのブロックチェーン技術の活用

- ブロックチェーン技術のデータ改ざん耐性を利用して、個別の電力供給情報と需要情報とをつなぎ、分散型エネルギーの導入を後押しする。
- スマートコントラクト（プログラムによる契約の自動化）というブロックチェーン技術を応用して、太陽光発電の余剰電力などを近隣の家庭の間で直接取引するP2P取引の実証試験も行われている（下図参照）。

- 各家庭で希望売買価格を設定。
- ブロックチェーンサーバが自動的に取引価格を設定し、自動的に配電。
- 売買契約が成立した容量の電力だけが取引されるため、同時同量の需給バランスが成立する。このため電力システムの安定化も寄与する。

（東大/日本ユニシス/関西電力/三菱UFJの共同研究）



電力システム取得データの活用に向けて

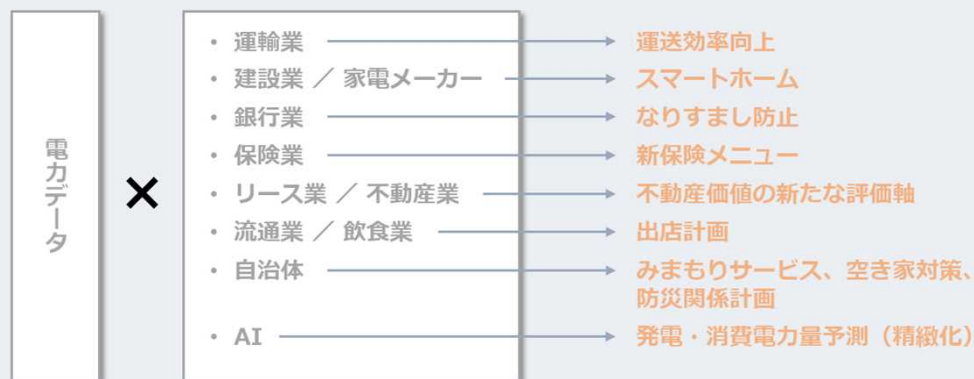
個人情報保護・適正管理の検討

- スマートメータの情報の活用が日米欧で検討されているが、個人情報の取り扱いや管理が重要な課題である。国内では、公的機関が認証した「情報銀行」でデータを扱う条件で利用を認める検討中。

期待されるデータ活用の例

電力分野を始め、様々な産業での電力データを活用した新たなサービスや付加価値創出が期待されている

期待される新たなサービス創出



「第7回 次世代技術を活用した新たな電力プラットフォームの在り方研究会 資料1」（経済産業省）
(https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/denryoku_platform/pdf/007_01_00.pdf) をもとにCRDS作成

- 公的な見守りサービスや空き家対策に加え、民間の新サービスへの活用も期待

最後までご覧頂きありがとうございました。

■ DXに関するCRDS報告書はこちら



<https://www.jst.go.jp/crds/report/report04/CRDS-FY2020-RR-01.html>

■ CRDSの活動・成果・コラムは ウェブサイトでご覧いただけます



<https://www.jst.go.jp/crds/>



■ 最新情報はメールマガジン、Facebookでも配信中



<https://www.jst.go.jp/melmaga.html>



<https://fb.com/170314426446196/>

■ その他 お問い合わせはこちらまで



crds@jst.go.jp