

電力システムにおけるグリーンイノベーションの可能性

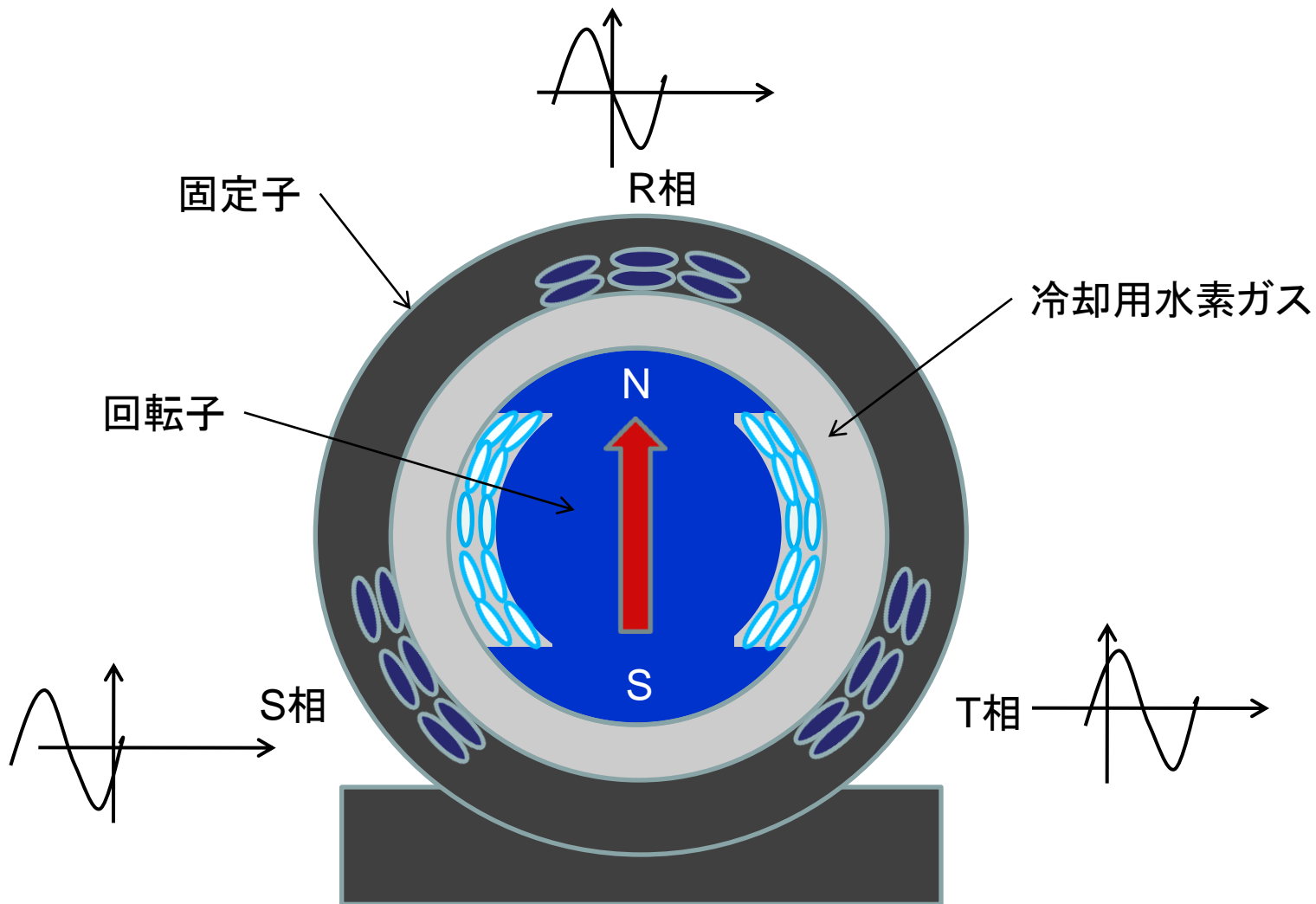
特任教授

阿部 力也

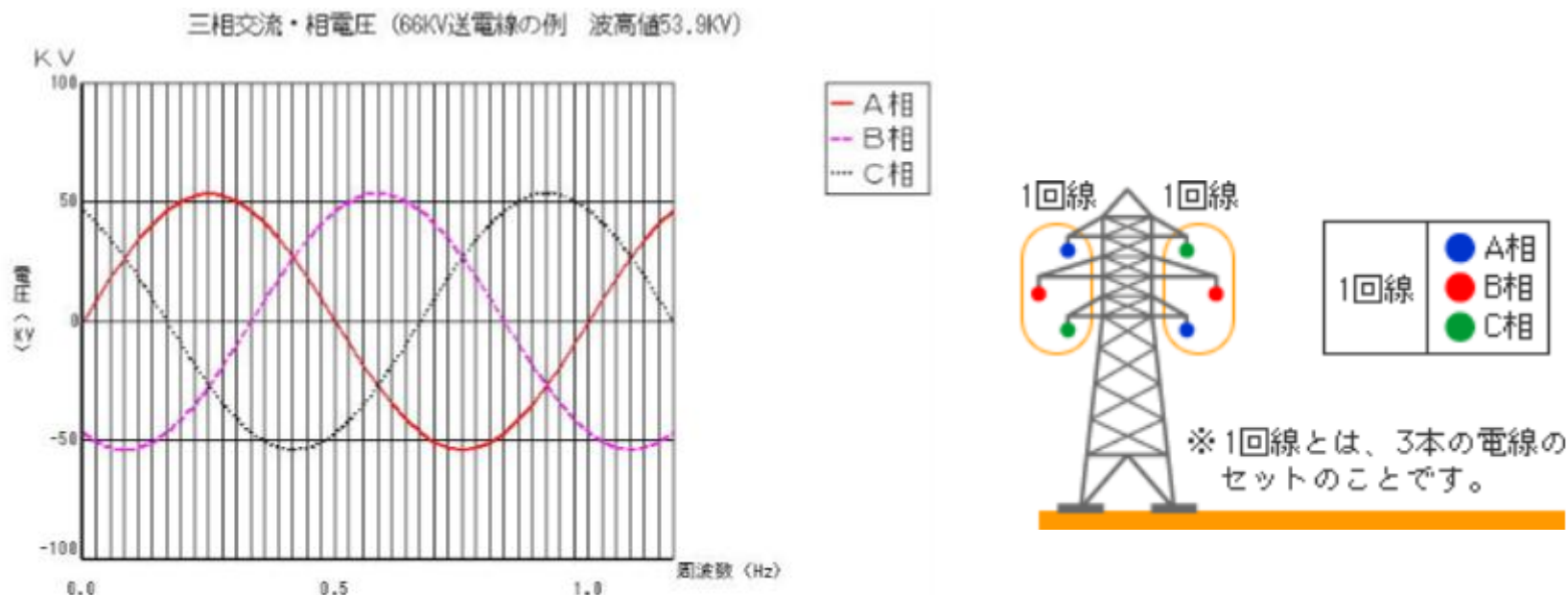
2011年6月10日

東京大学大学院 技術経営戦略学専攻

三相交流発電の原理

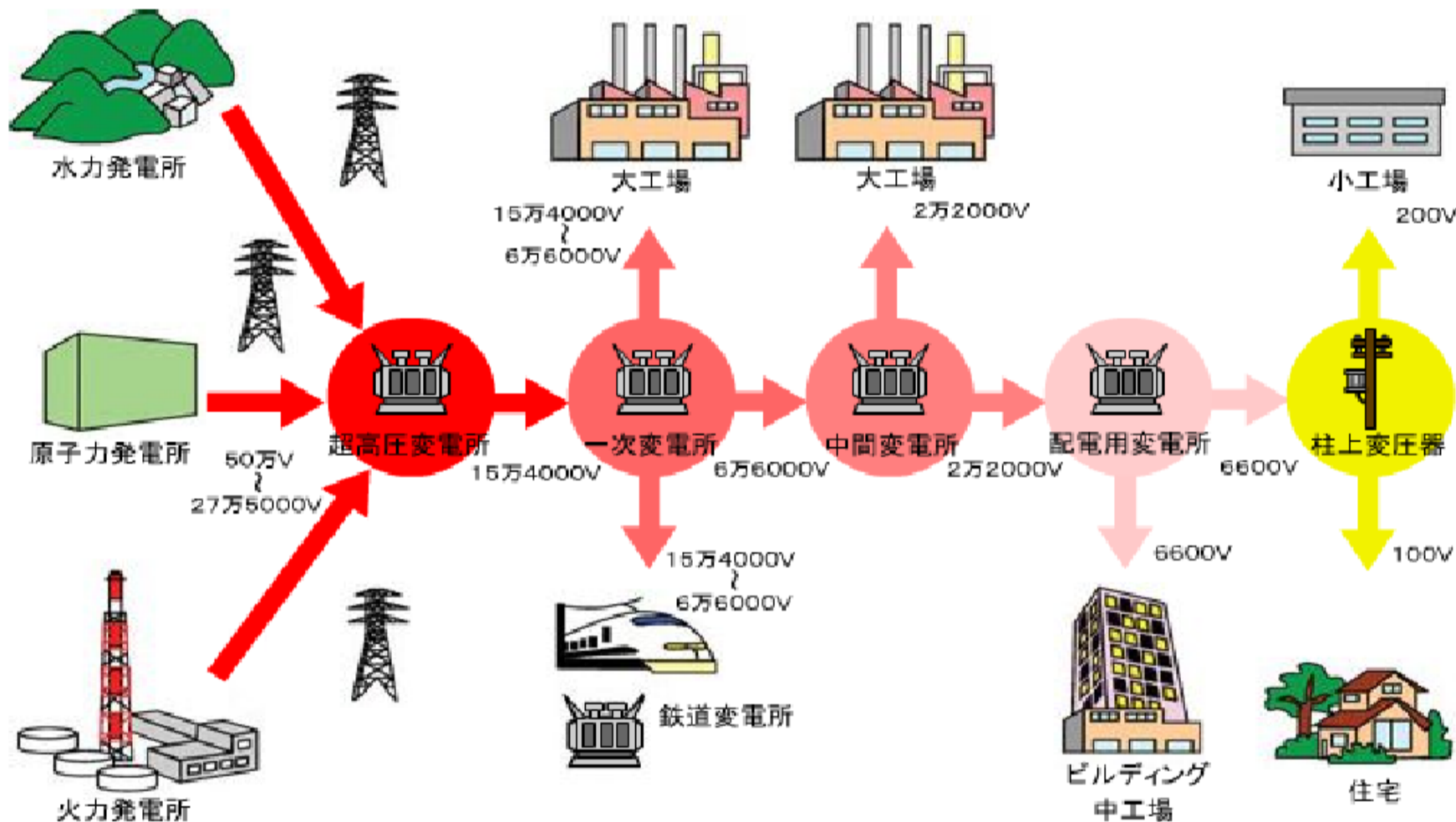


- 三相交流
 - 3つの単相交流が組み合わされて出来たもの



- どの時間断面をとってもA, B, Cの電気の総和は0になり帰路に電気が流れないこととなる。
- 三相三線式

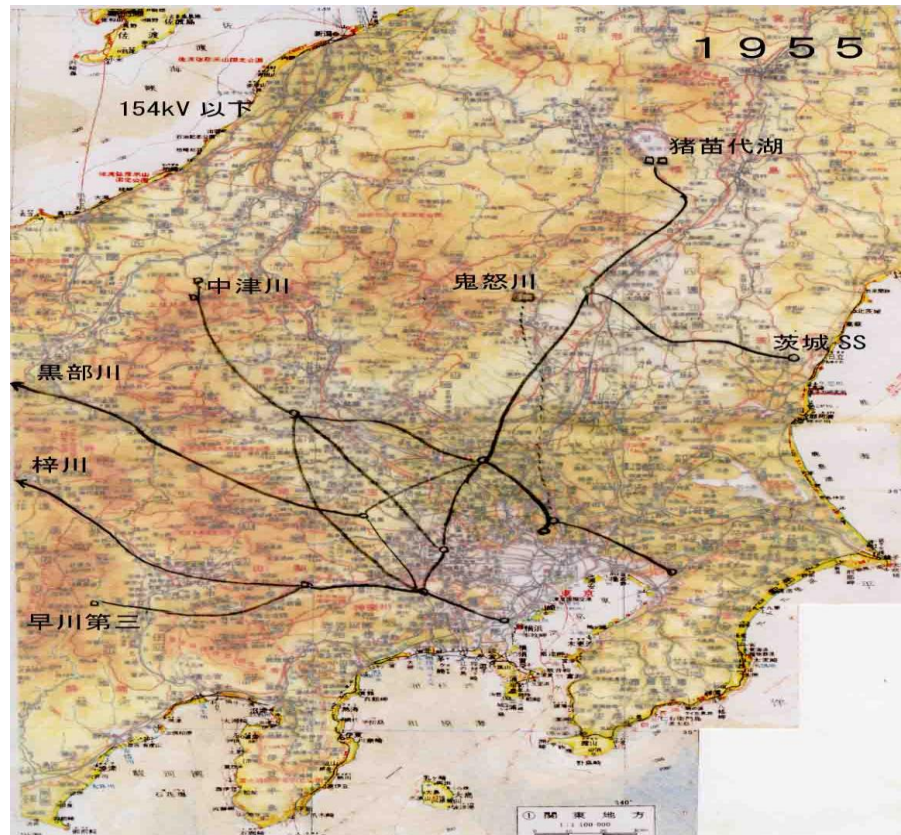
電力系統とは(発電=消費:常に)



http://www.fepec.or.jp/learn/souden/keiro/sw_index_01/index.html

系統連系の強化

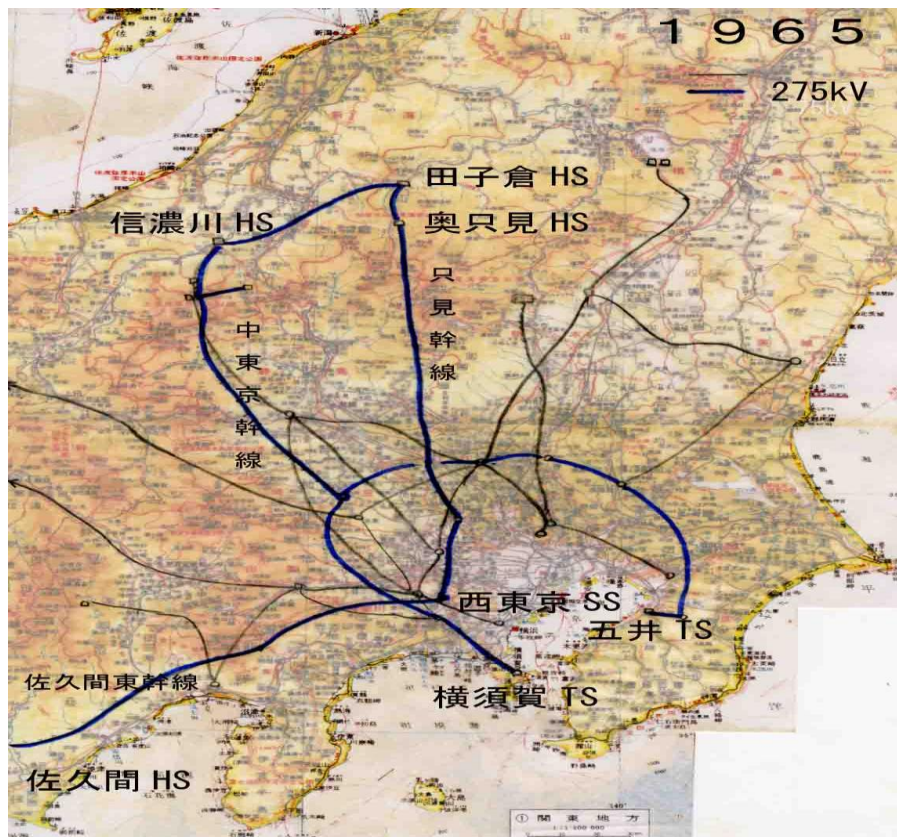
外輪線の構築（首都圏）



地球技術研究所
荒川氏作成

系統連系の強化

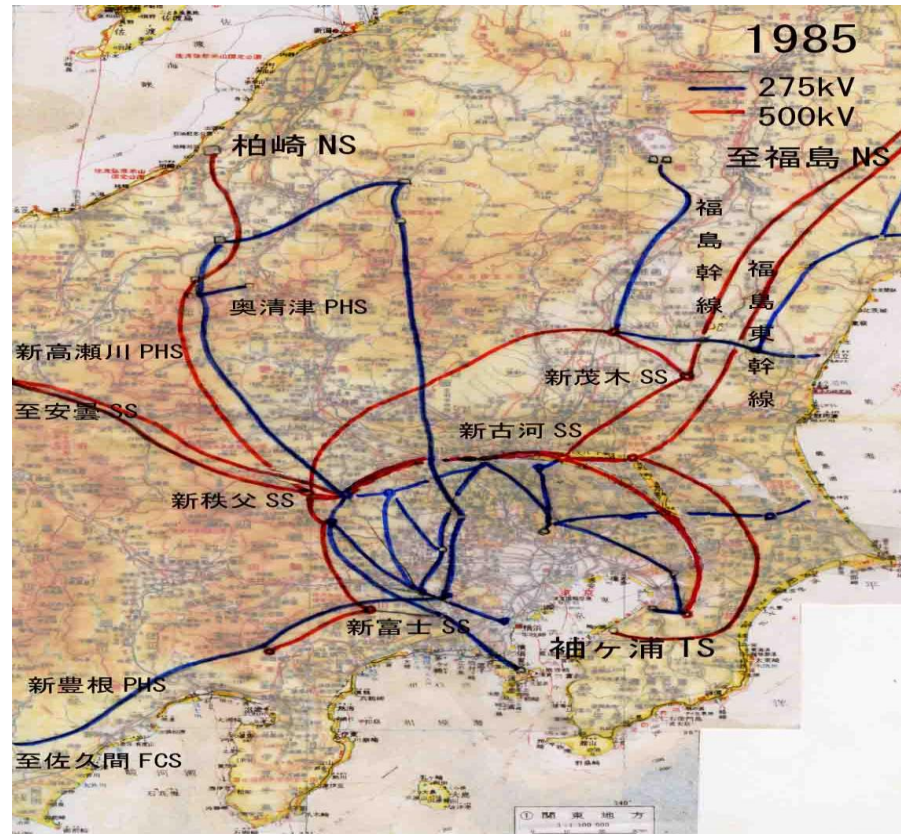
外輪線の構築 (首都圏)



地球技術研究所
荒川氏作成

系統連系の強化

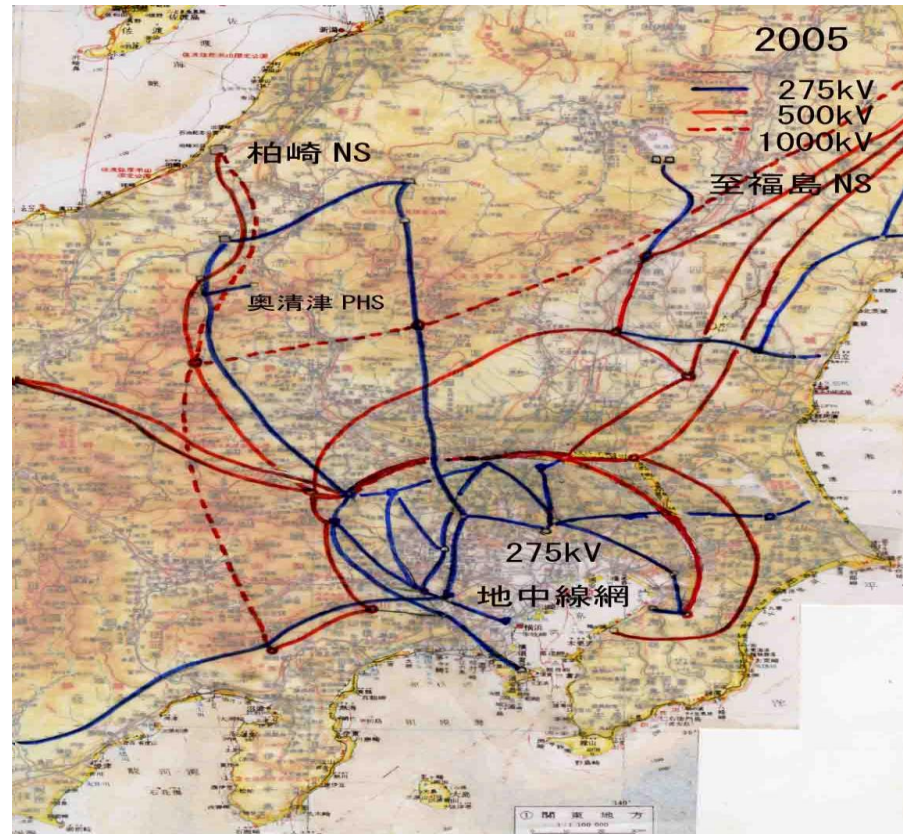
外輪線の構築（首都圏）



地球技術研究所
荒川氏作成

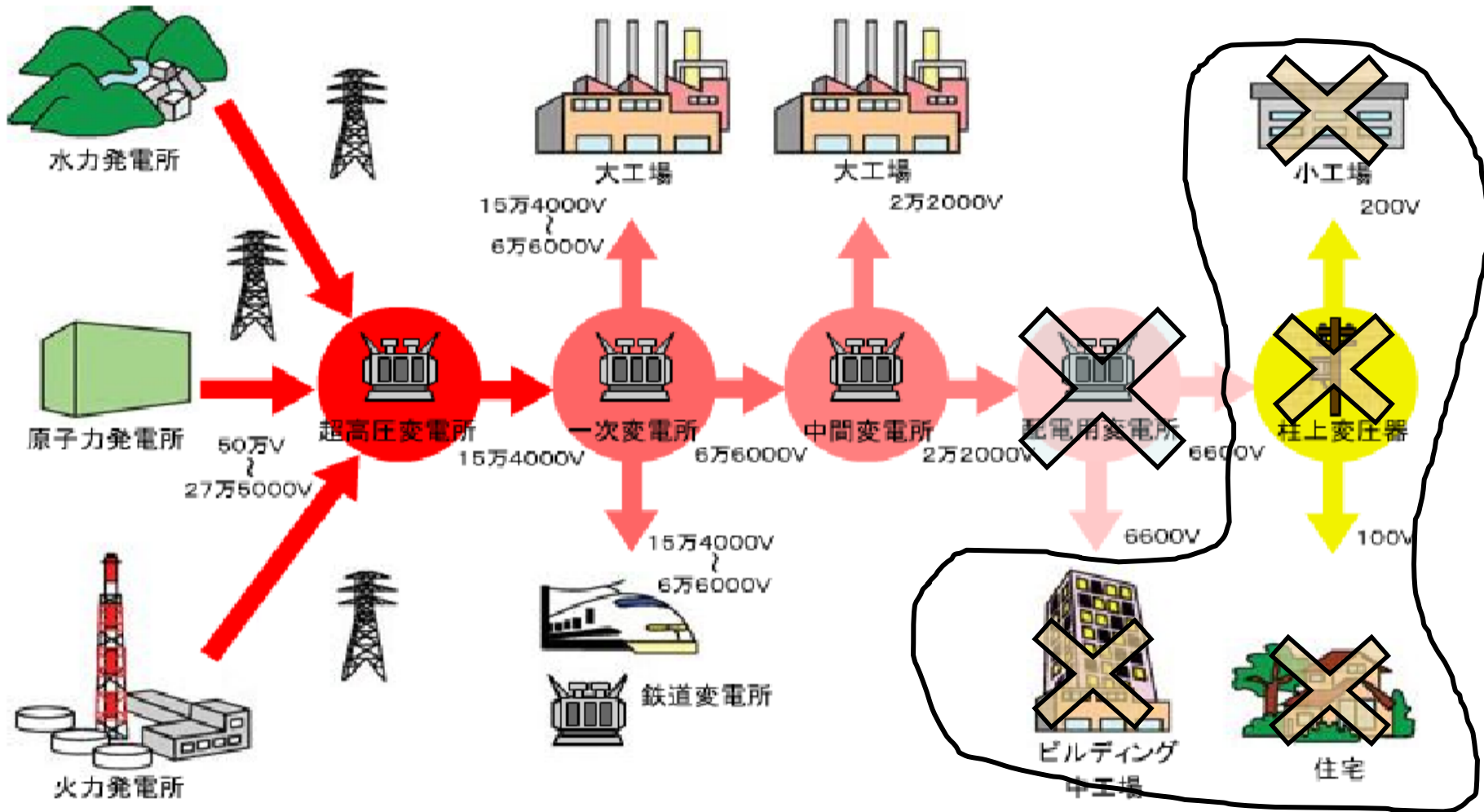
系統連系の強化

外輪線の構築 (首都圏)



地球技術研究所
荒川氏作成

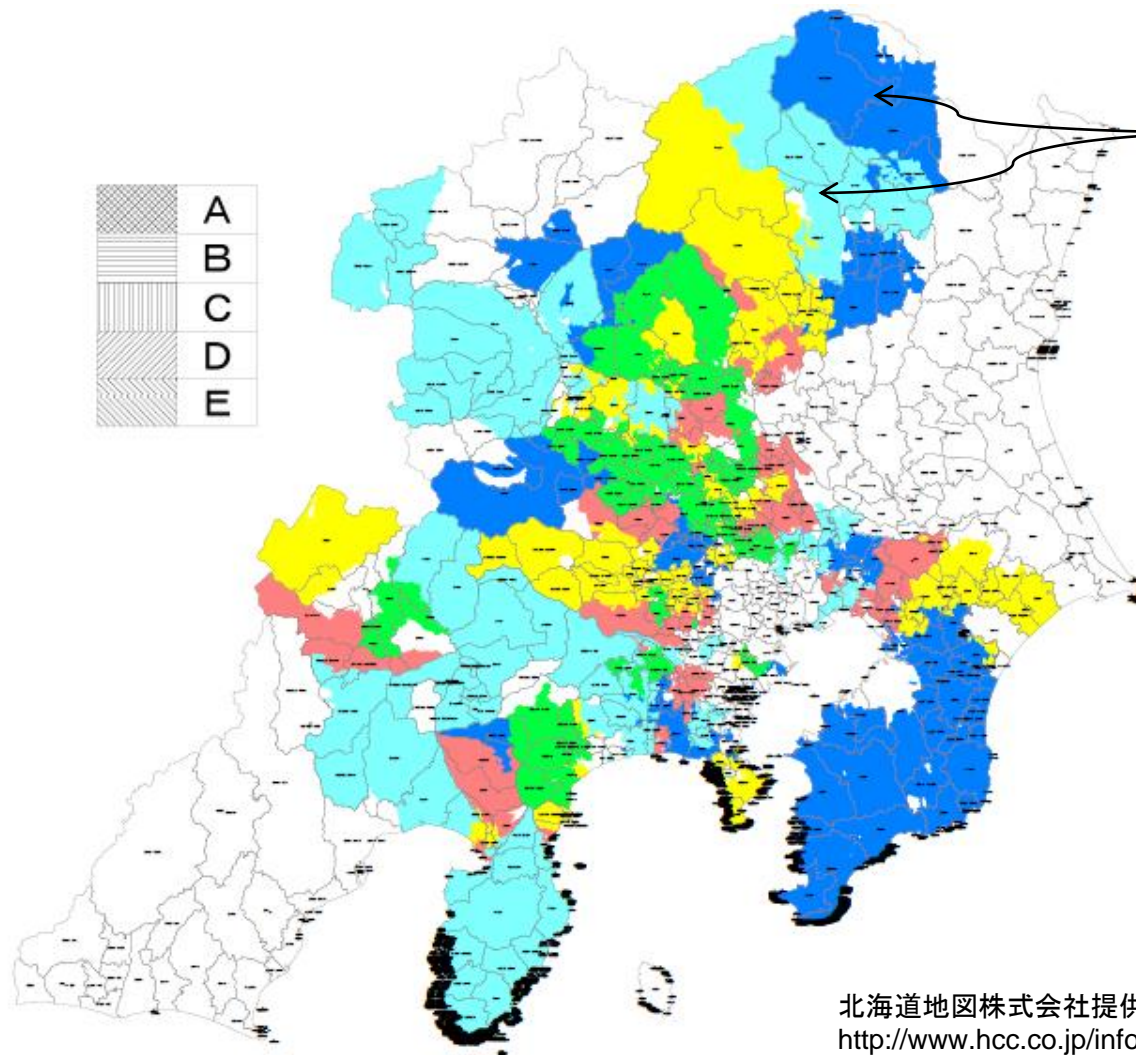
1か所事故があるとその下流は全停電



http://www.fepec.or.jp/learn/souden/keiro/sw_index_01/index.html

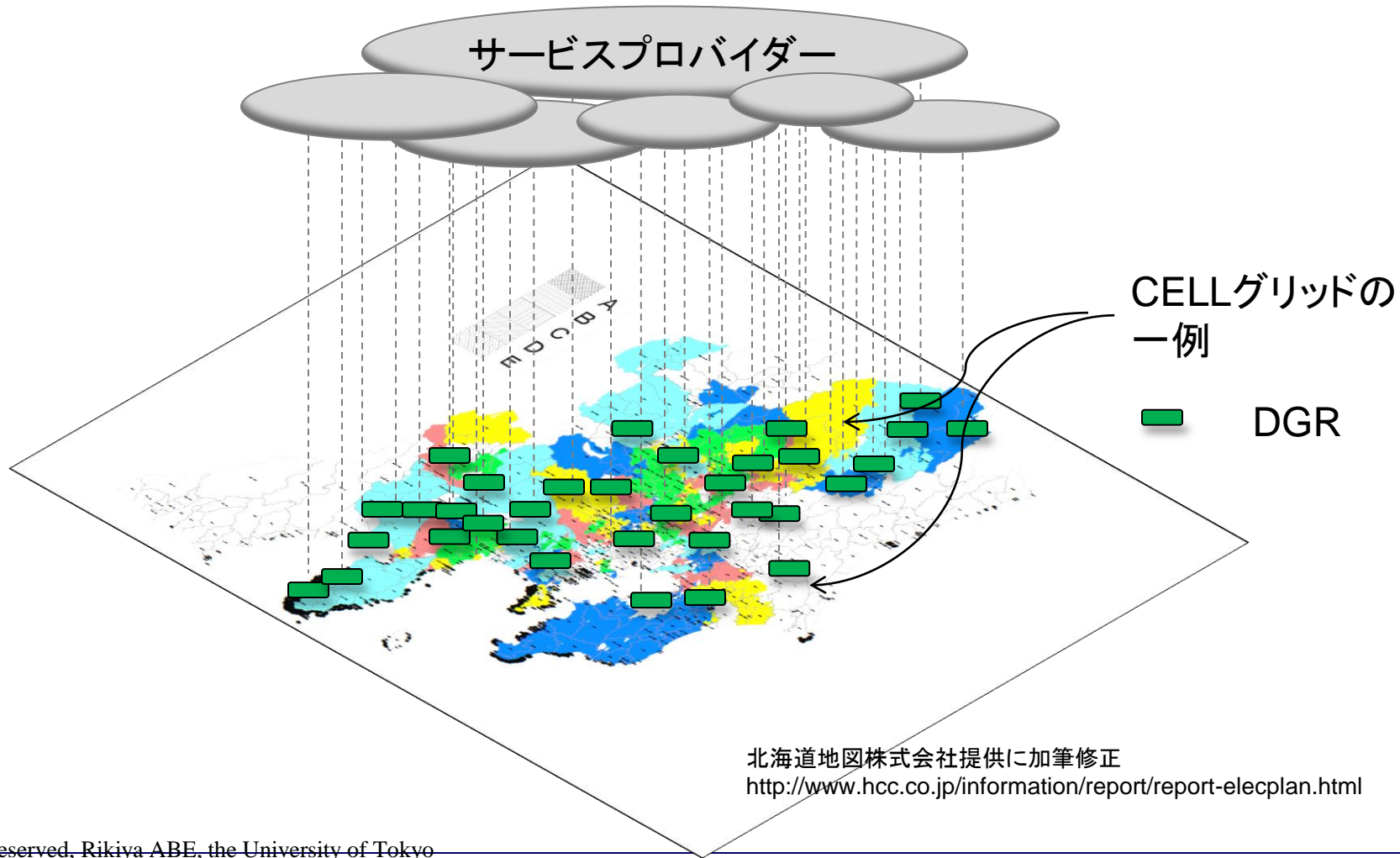
地域ごとに電源を持ち自給自足(地産地消)する仕組みが構築できないか？

東電計画
停電区分

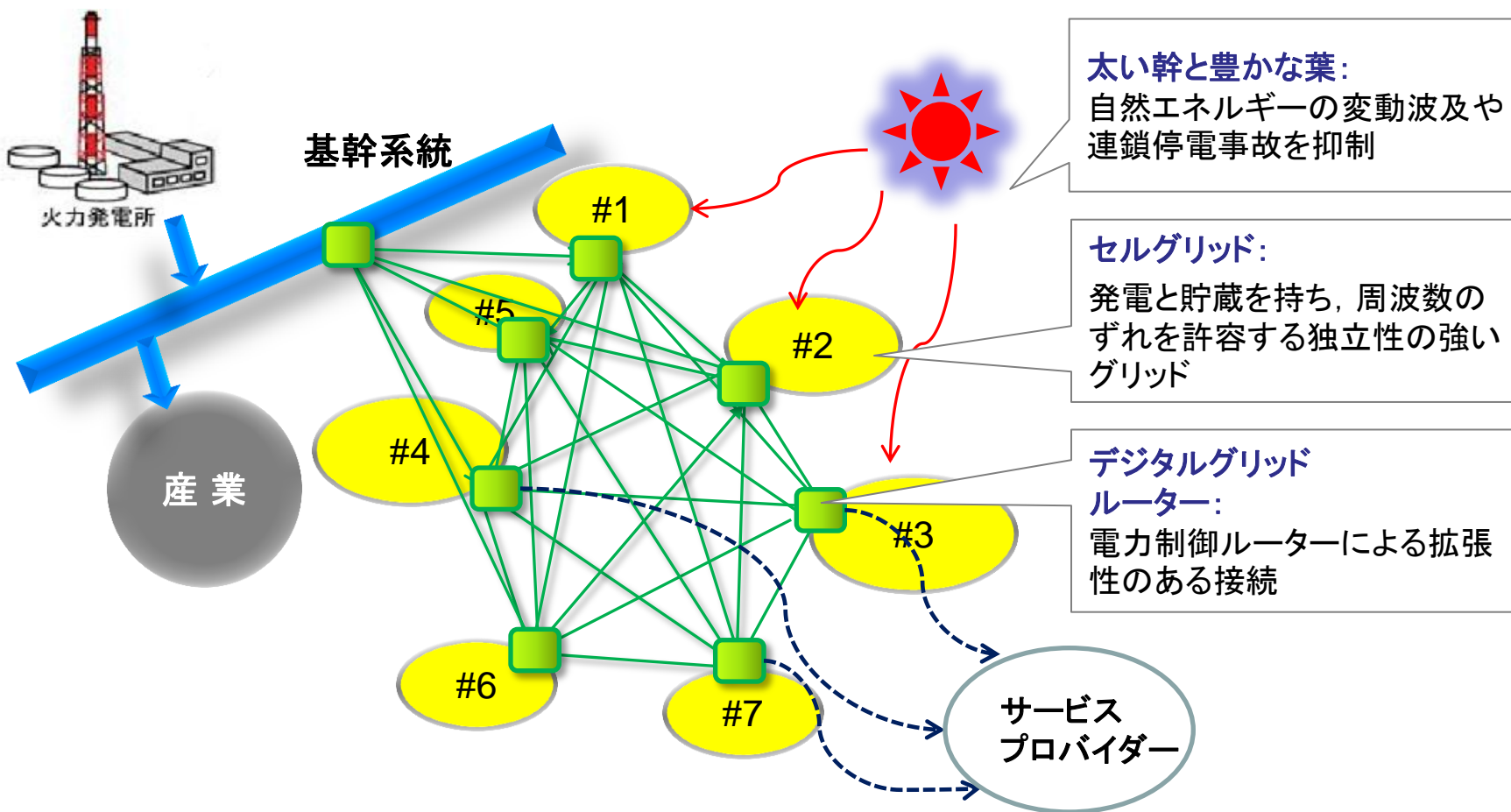


北海道地図株式会社提供
<http://www.hcc.co.jp/information/report/report-elecplan.html>

地域の電力需給を域内でバランスする



新しい電力供給システム ~デジタルグリッド~



デジタルグリッド

セルとは

- セルは分散形電源・貯蔵装置・負荷を持ち、自立運転可能な最小グリッド単位。

デジタルグリッドとは

- デジタルグリッドとは、数多くのセルをデジタルグリッドルーターで非同期連系した集合セルがさらにルーターで非同期連系し、アクティブに電力を融通しあう電力システムの進化した姿。

デジタルグリッドにより得られる効用

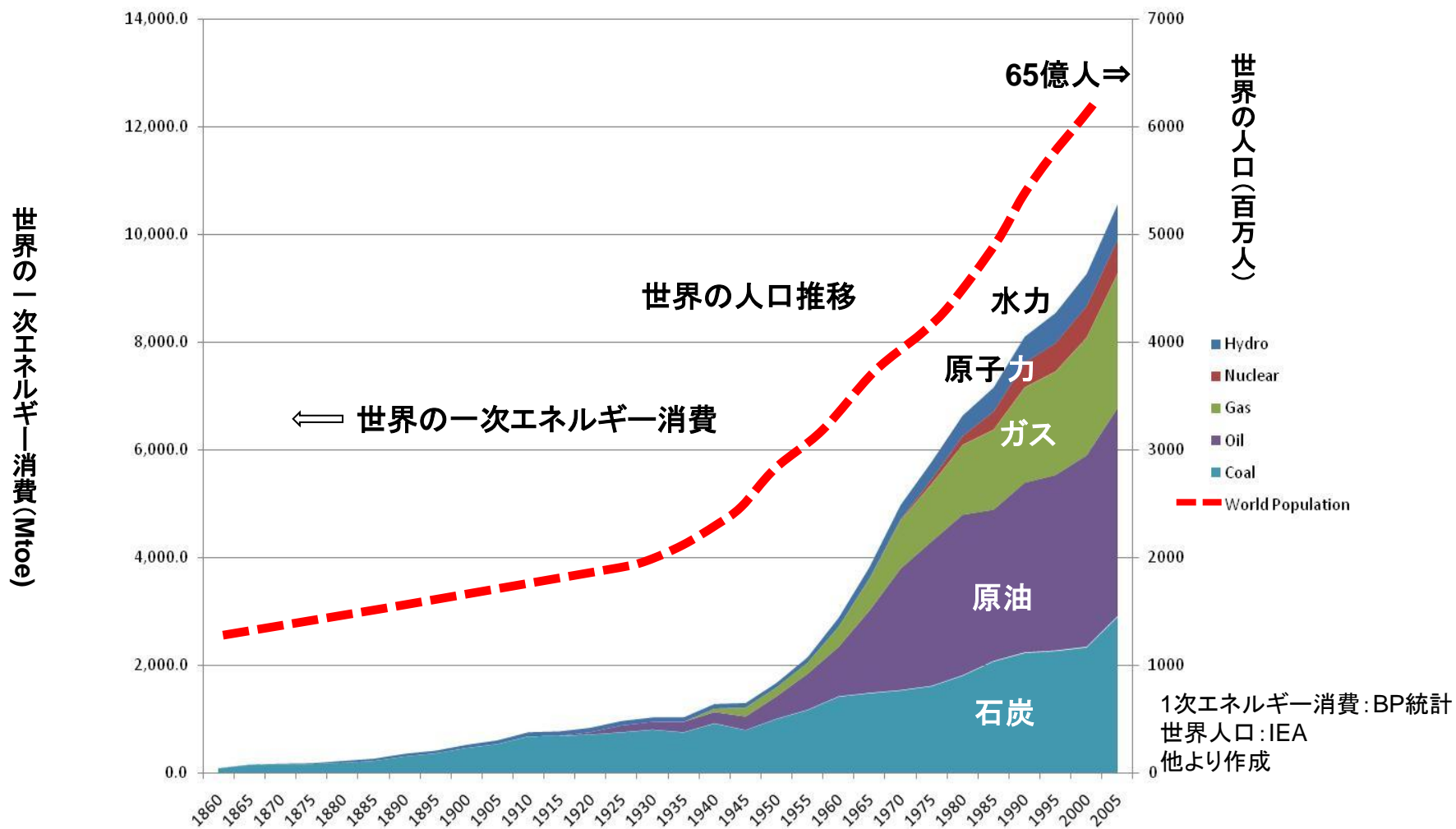
- 互いに独立したセルは、自然エネルギー発電制御に好適で停電連鎖が起きにくい。
- 分散したセルが発電源となり、グリッドは取引ルートに変貌していく。
- 電力の発生・伝達・消費行為が情報により実現され、他の電力と差別化できる。電力以外の価値も付加され、商品のよう
に取引できる自由市場が形成される。

自立可能な分散グリッド(CELL)における電源は？

⇒太陽光由来の発電

自然エネルギーは十分な量があるのだろうか？

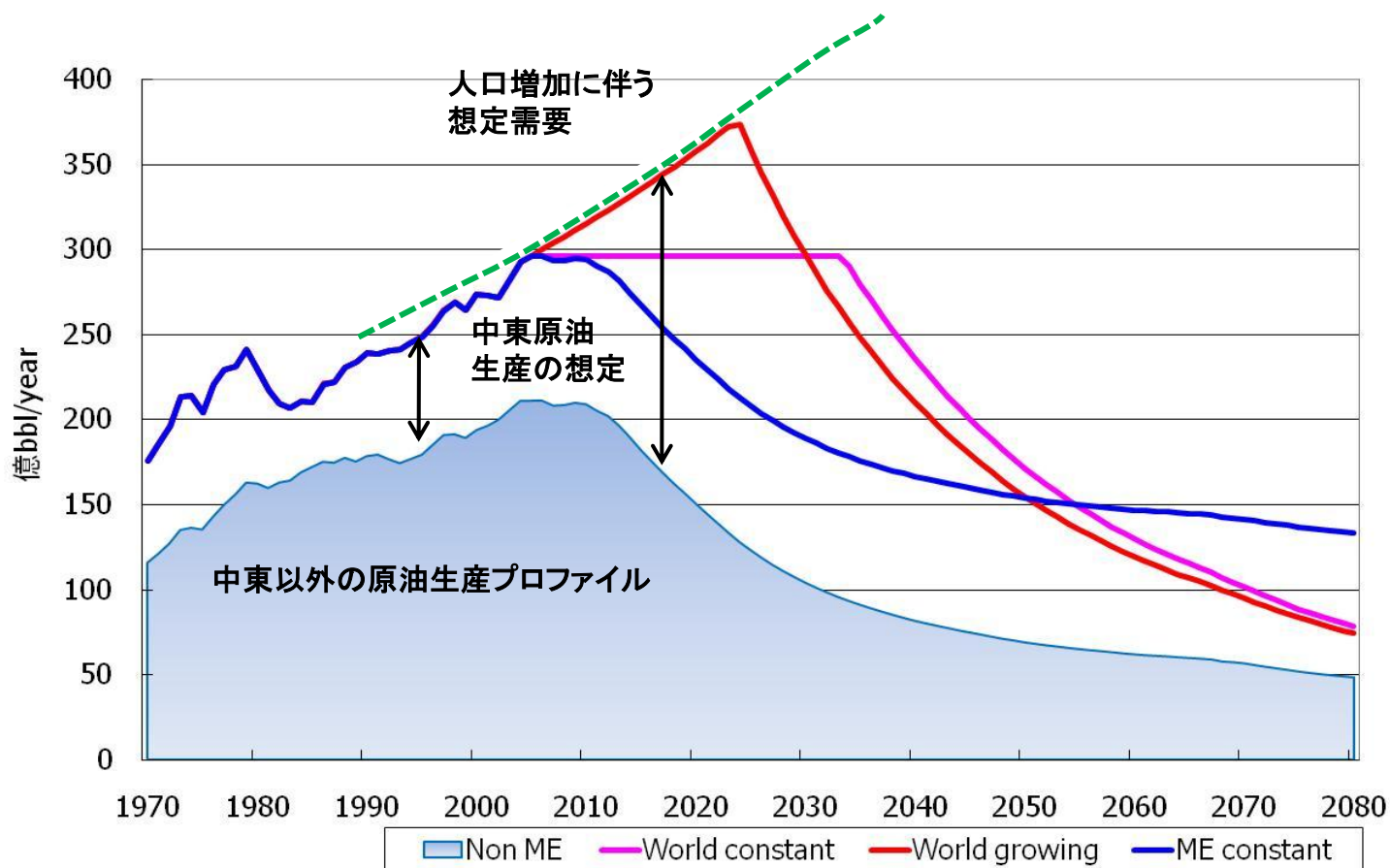
世界の一次エネルギー消費量と人口増加



All rights reserved, Rikiya ABE, the University of Tokyo

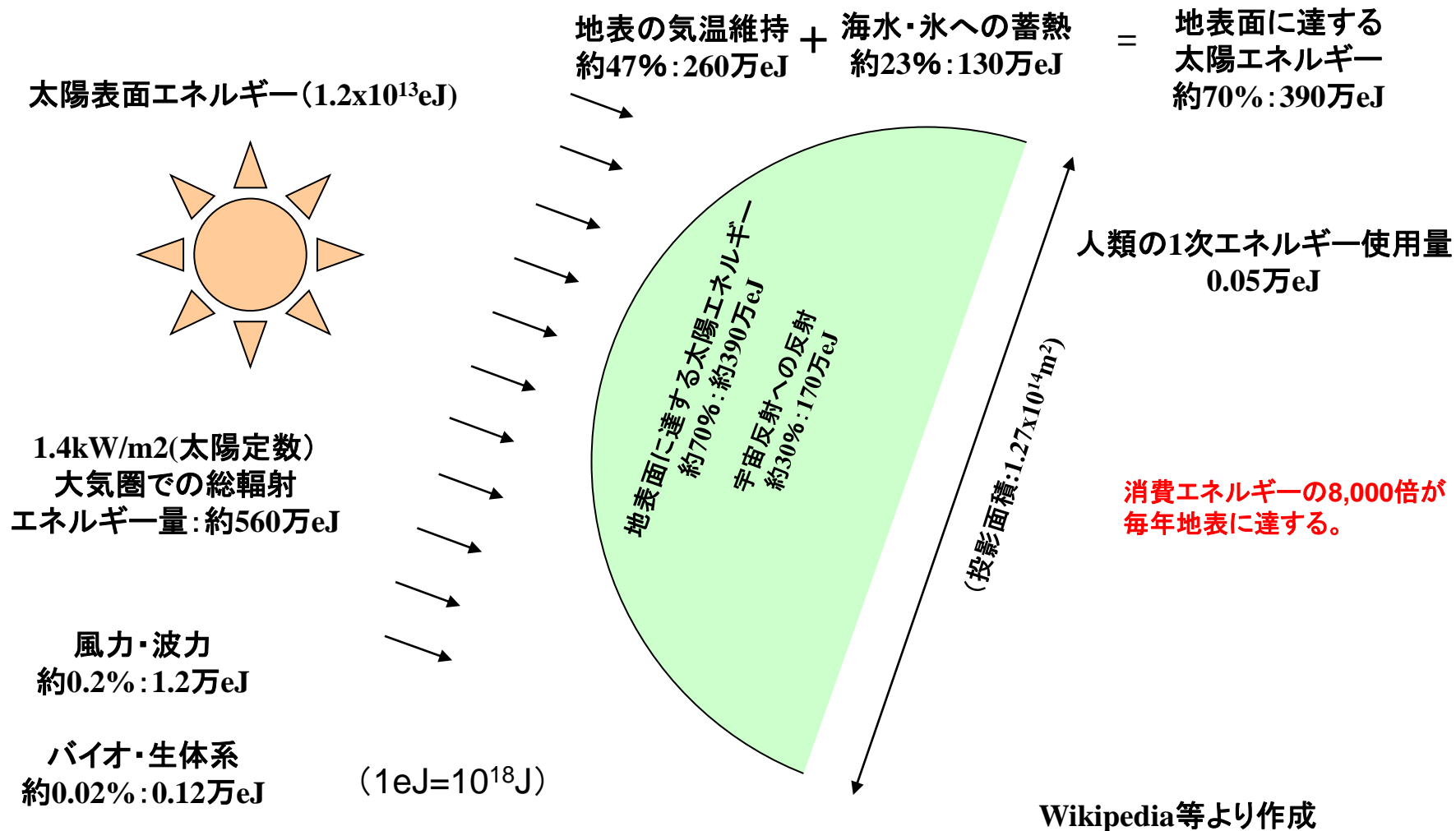
化石燃料時代終焉の始まり

世界人口増加に伴う原油需給ギャップは中東の生産政策次第
中長期的には需給ギャップが生まれ始める可能性大



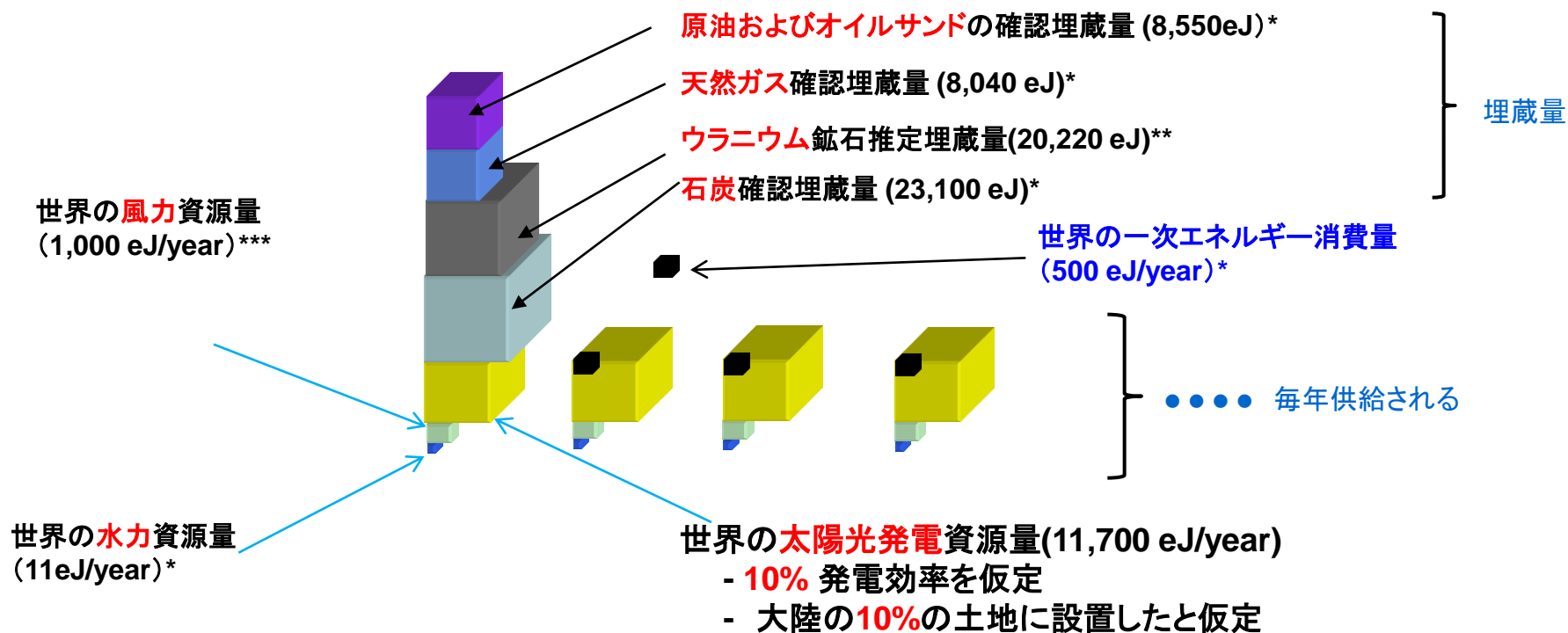
「油田の生産プロフィールと発見関数に基づく世界原油生産推移の予測」茂木, 小池他, 日本エネルギー学会, Vol86, pp987-994

太陽の年間輻射エネルギーと 人類の1次エネルギー使用量



太陽エネルギーは、人類のエネルギー需要を100%満たす

太陽エネルギーは、人類のエネルギー消費に対し、ふんだんにある



* : BP world energy 2009
** : OECD nuclear energy data 2008
*** : World energy council survey of energy resources 2007
eJ : exajoule (10^{18} J)

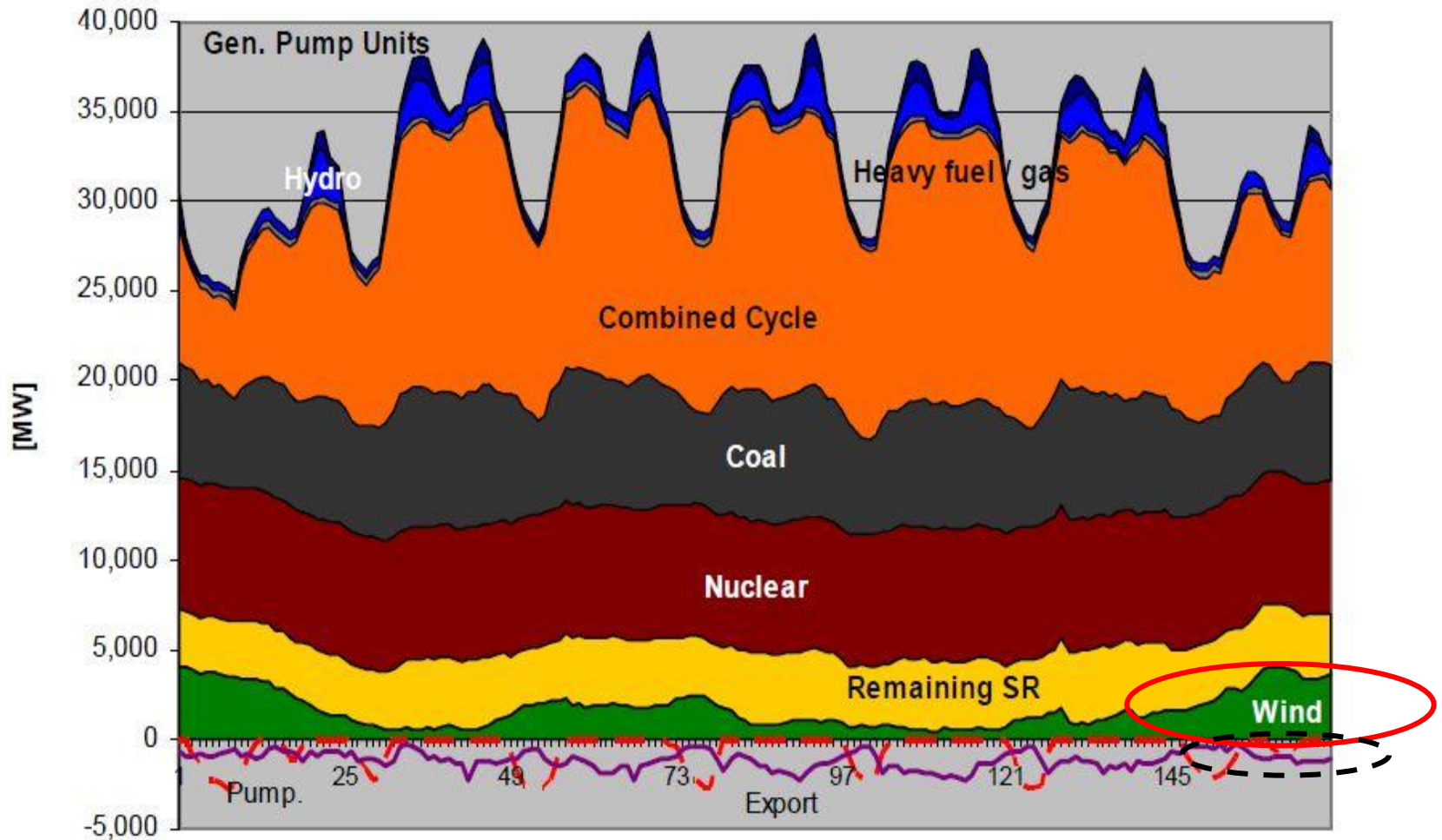
米国の電力をすべて賄う太陽光発電



- 米国エネルギー省 (DOE) によると **100 mile x 100 mile の太陽電池** を Nevada 州の砂漠地帯に設置したら、米国の全電力 (**800 GW**) を賄うことができる。
(10% 効率の一般的な太陽電池を仮定)

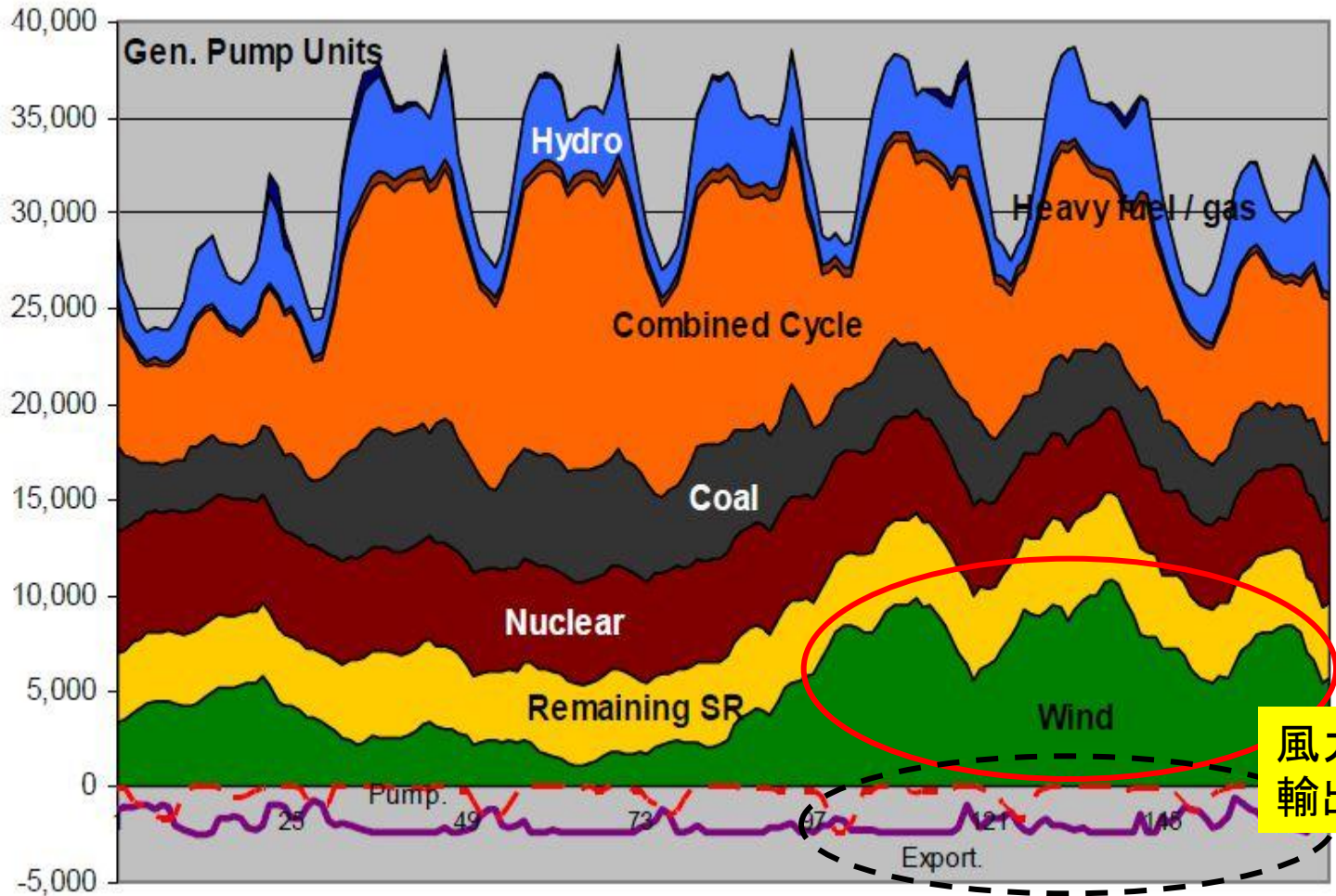
それには理由がある(スペインの1週間)

Spanish Demand Coverage - 24/02/2008 to 01/03/2008



風力の増加をガスタービンと輸出でしのぐ

Spanish Demand Coverage - 13/04/2008 to 19/04/2008



風力増大
輸出急増

Integration of large scale wind in the grid – The Spanish Experience : RED

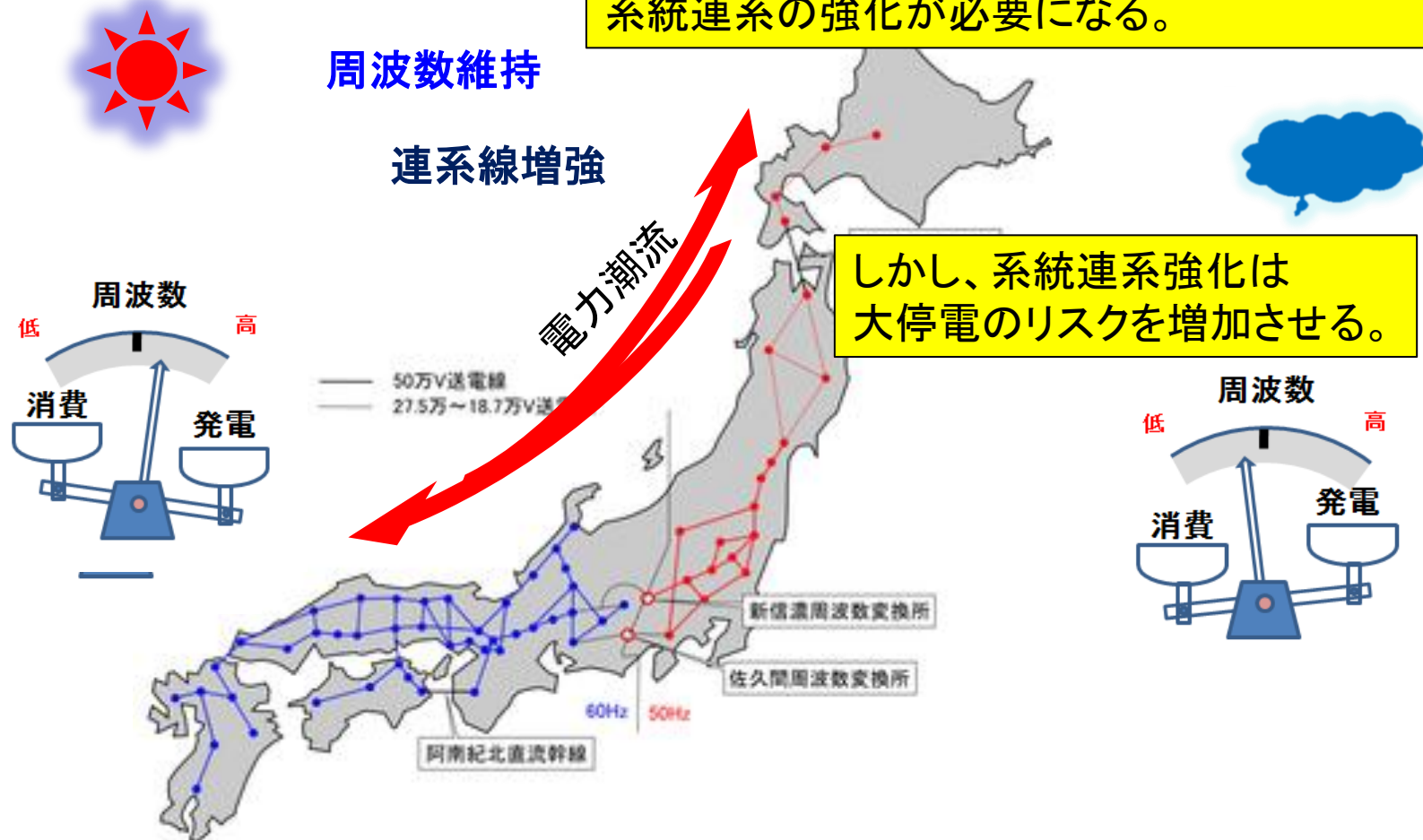
スマートグリッドとデジタルグリッドの違い

スマートグリッド ⇒ 受動的な電力系統(需要の計測, 制御)

デジタルグリッド ⇒ 送配電系統の能動的制御

発電変動を抑える電力潮流：連系線増強

太陽光発電の大量導入は出力変動をもたらし、周波数維持のためには系統連系の強化が必要になる。



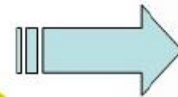
スマートグリッドは負荷を制御する試み

	従来の電源系統	スマートグリッド	デジタルグリッド
発電設備	制御可能	制御不可能	制御不可能
送配電設備	受動的制御	受動的制御	能動的制御
需要	制御不可能	制御不可能	制御不可能

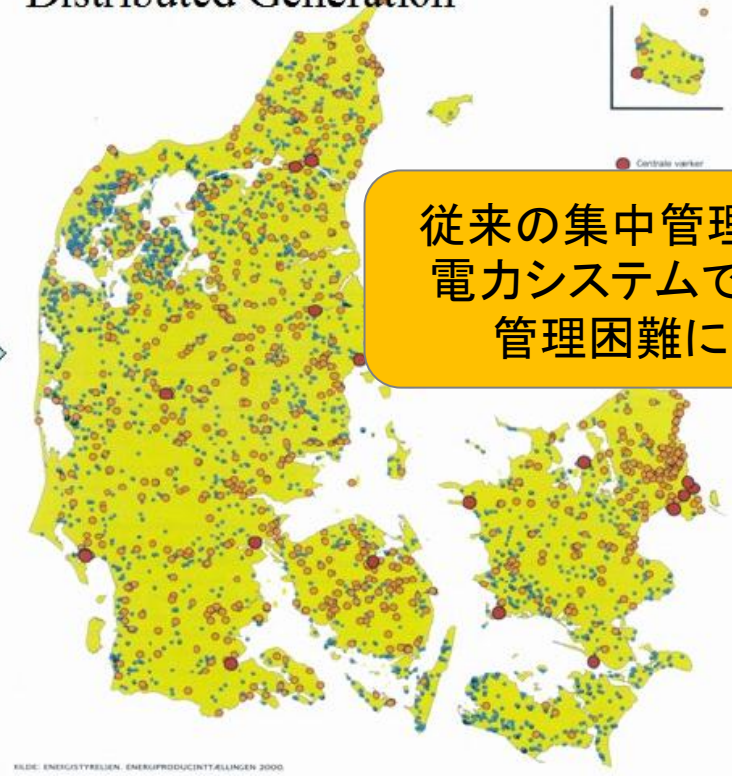
電気料金で制御
負荷の直接制御

デンマークで起こったこと

Centralised Generation



Distributed Generation



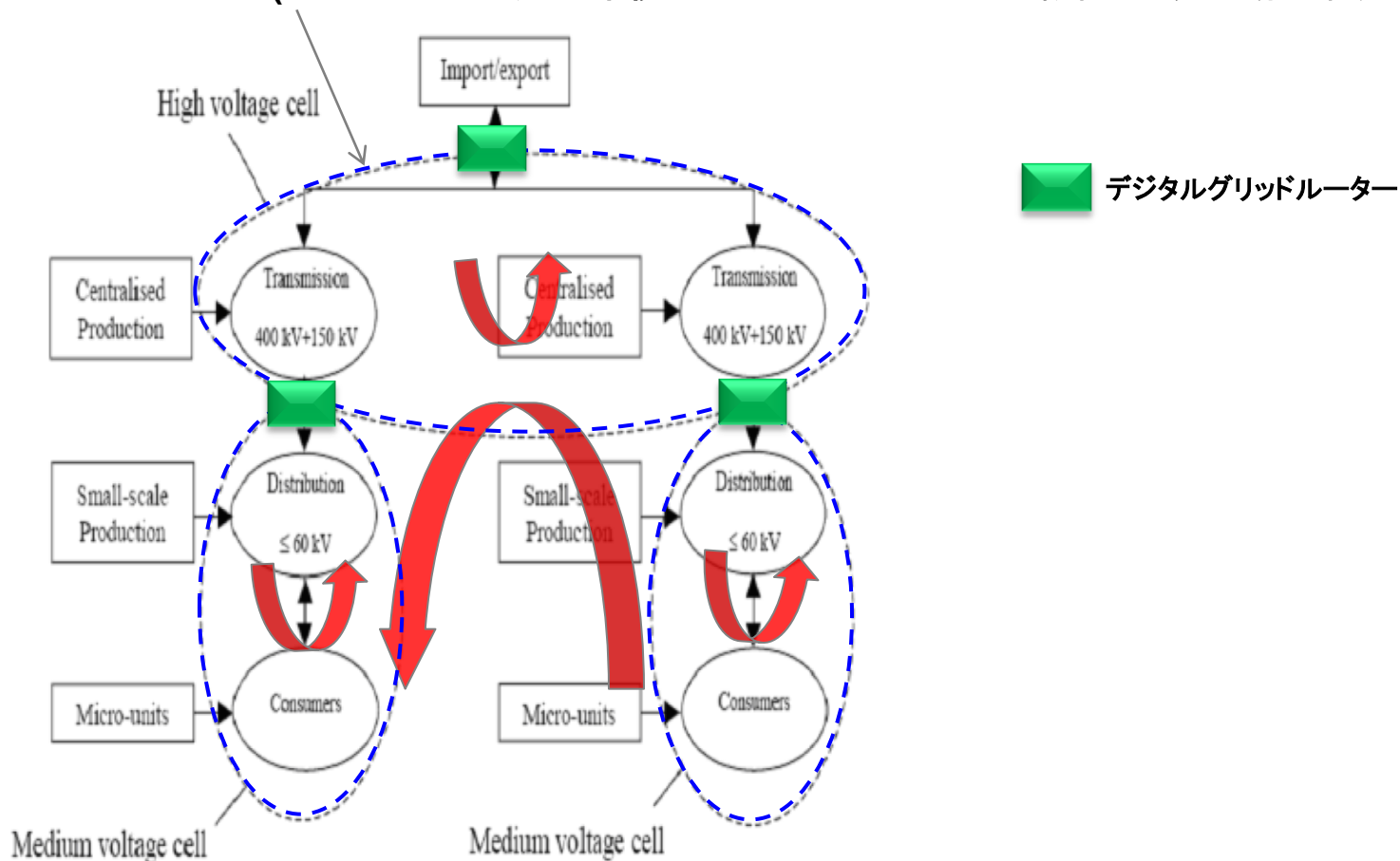
従来の集中管理型
電力システムでは
管理困難に

Source: Risø

電力系統の分割(先進国)

○グリッドを電圧系統別, 消費単位別などに分割セル化し, デジタルグリッドルーターで非同期連系する。

電圧レベルごとにセル化(デンマークの例)した系統に デジタルグリッドルーター設置して非同期連系する



<基幹系統問題>

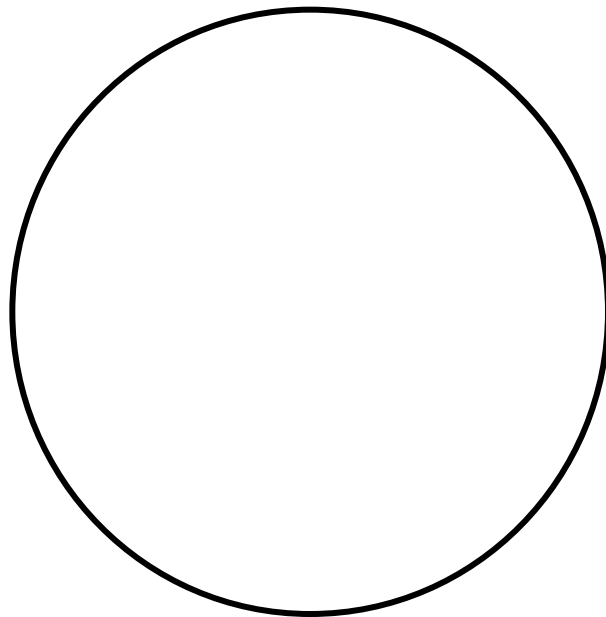
- ・REは、発電制御ができない。
- ・周波数維持のために、大電力潮流が東西に融通されなければならない。
- ・小さな変動が、小さな故障を起こし、連鎖的大規模停電を引き起こす。

そのほか、配電系統にも問題が生じる。

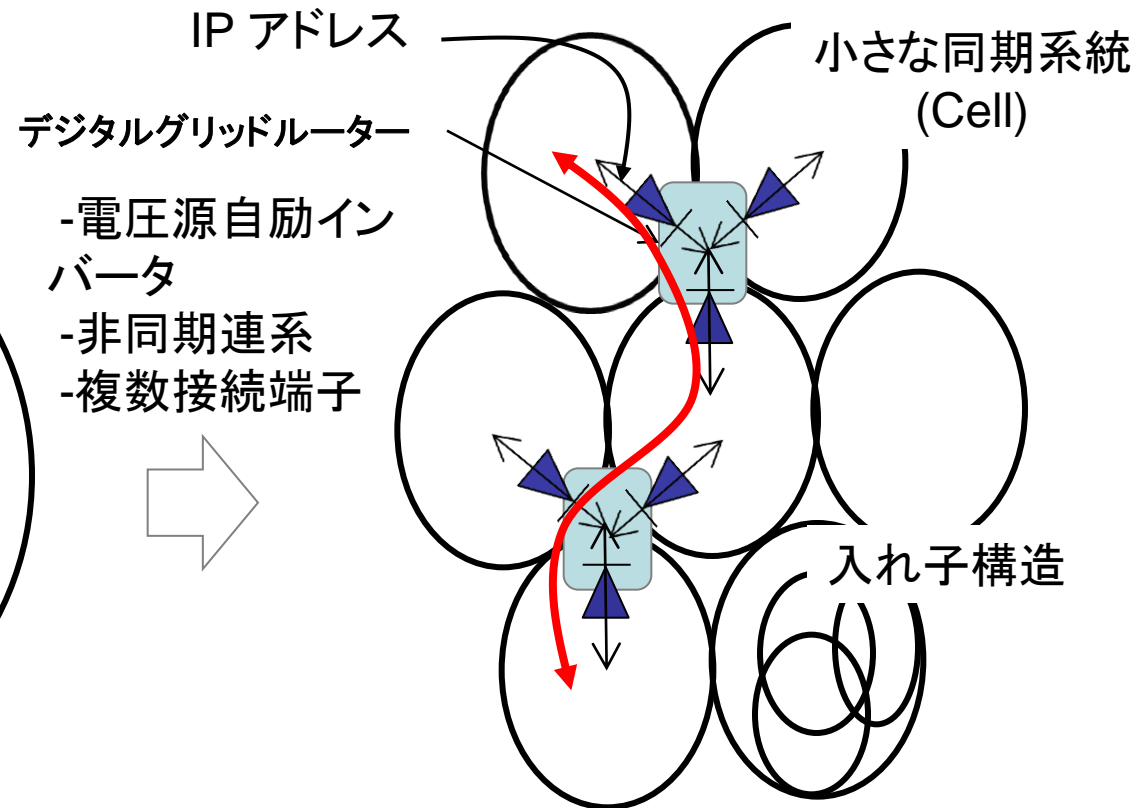
<配電系統問題>

- ・電圧逸脱問題: 配電系統末端で発電するので、末端側の電圧が上昇する。
- ・単独運転問題: 上流側が停電しても、下流側で発電できるので、作業員の安全確保に問題がある。

巨大同期電力系統



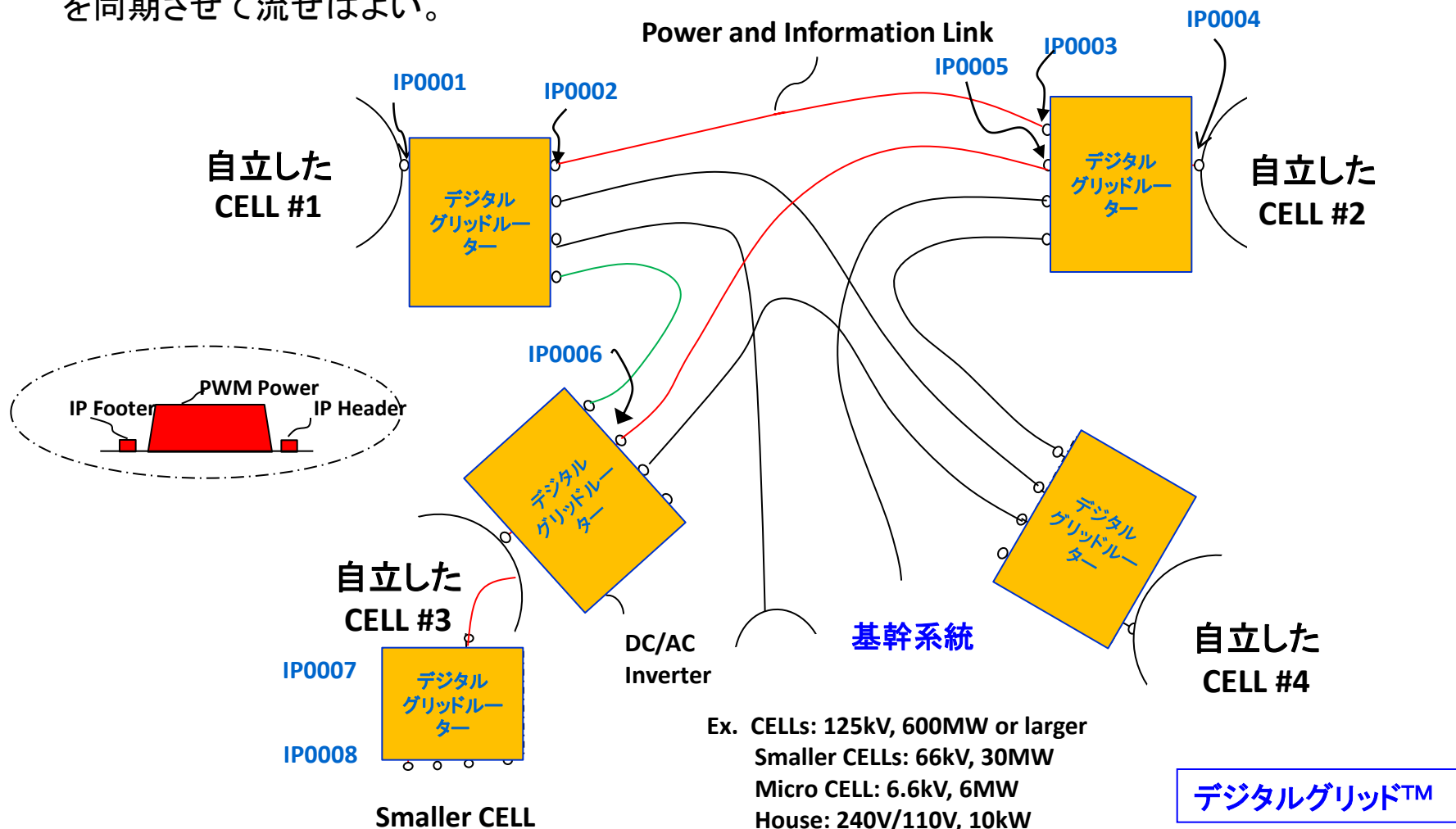
細分化された非同期電力系統



セルのサイズ: 地方単位, 州単位, 市単位, 工場単位, 家庭単位, etc.

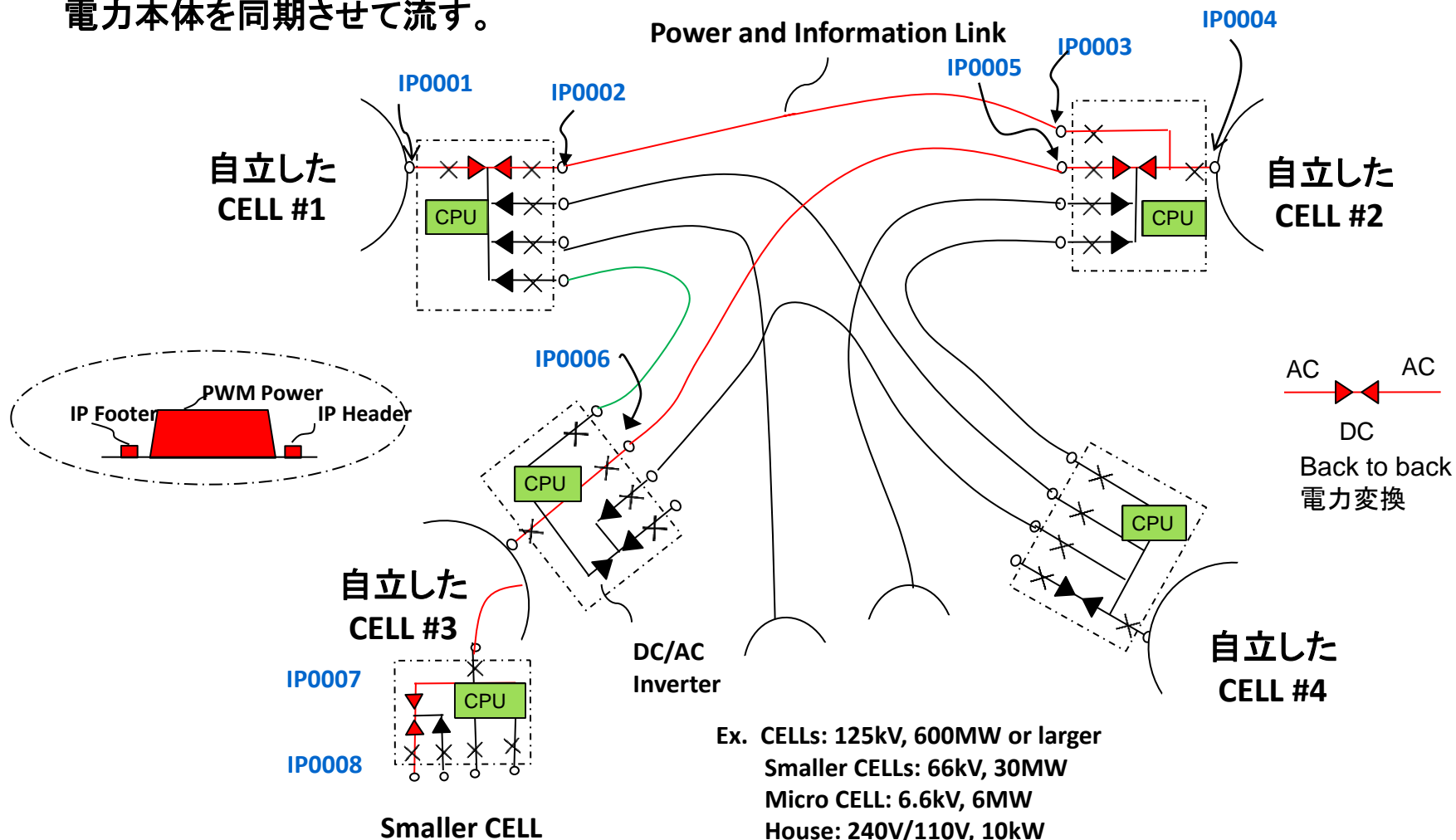
電気の識別

電気を識別するには、連系点にアドレスを付与し、アドレス情報を含んだ電力情報と電力本体を同期させて流せばよい。



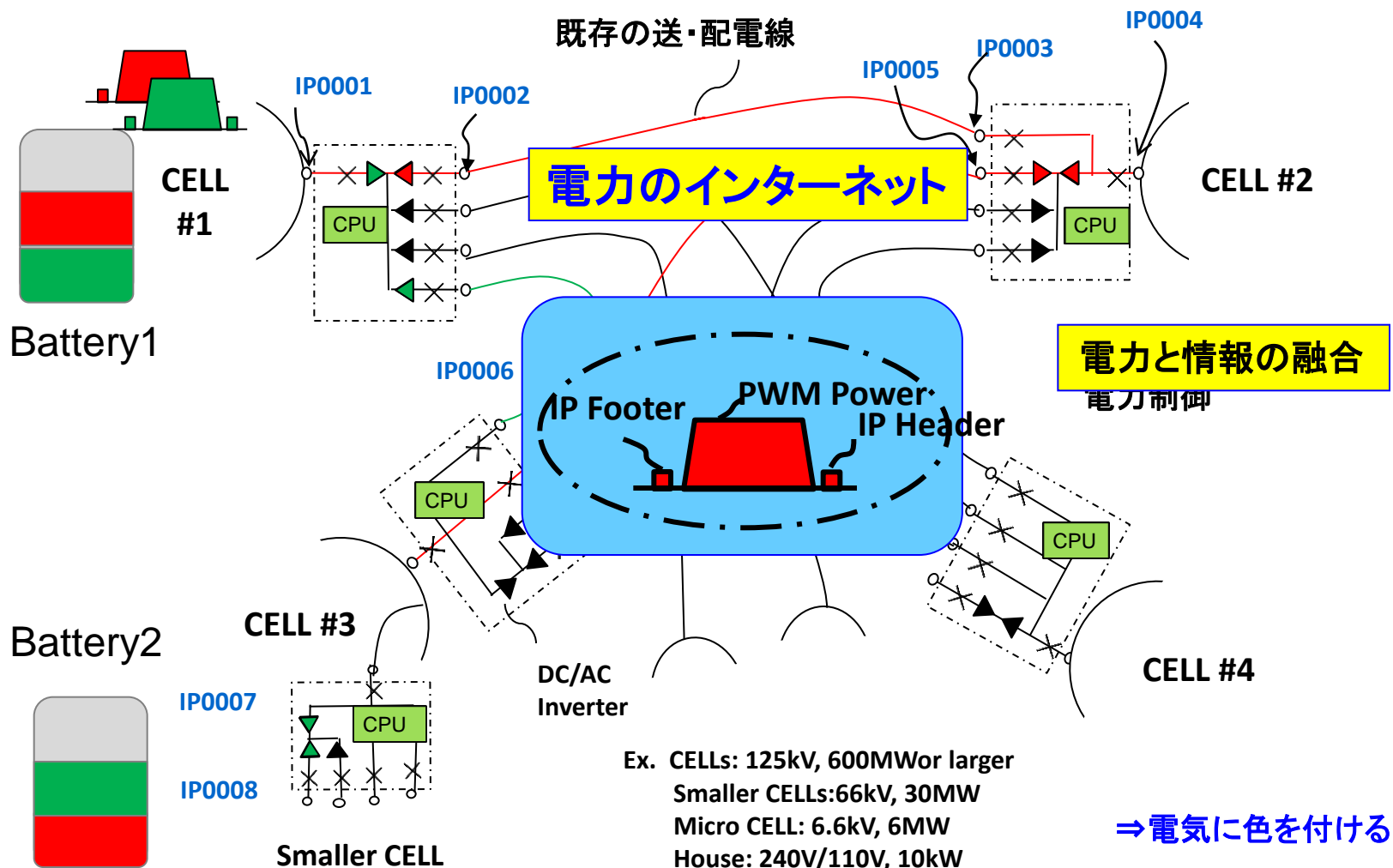
デジタルグリッドルーターの役割

電気を識別するには、連系点にアドレスを付与し、アドレス情報を含んだ電力情報と電力本体を同期させて流す。



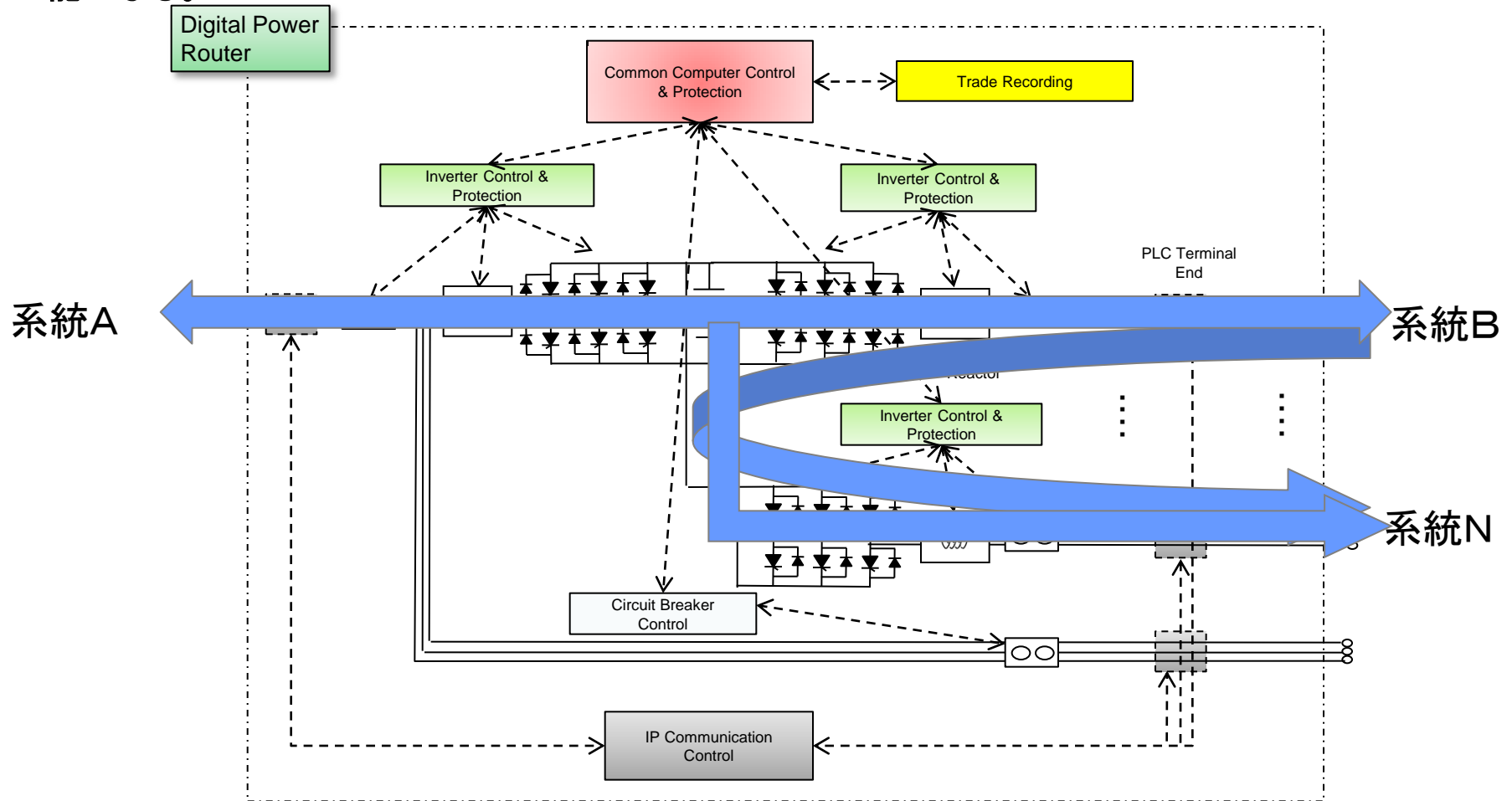
電気の同期識別

アドレスによるルーティングで電気識別が可能になる。

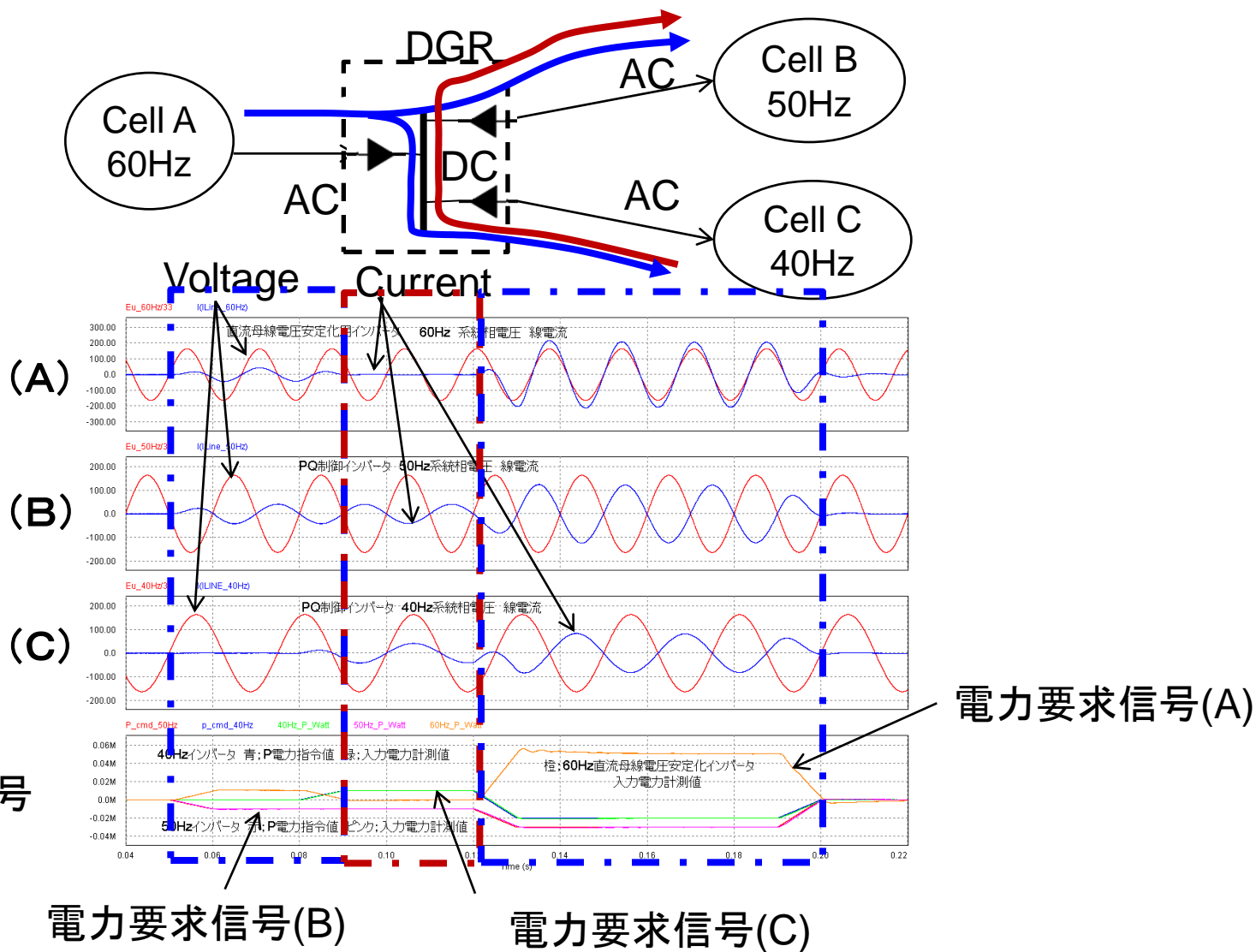


デジタルグリッドルーター

多端子型非同期連系の実現により、対象・タイミングを問わない柔軟なネットワーク接続が可能になる。



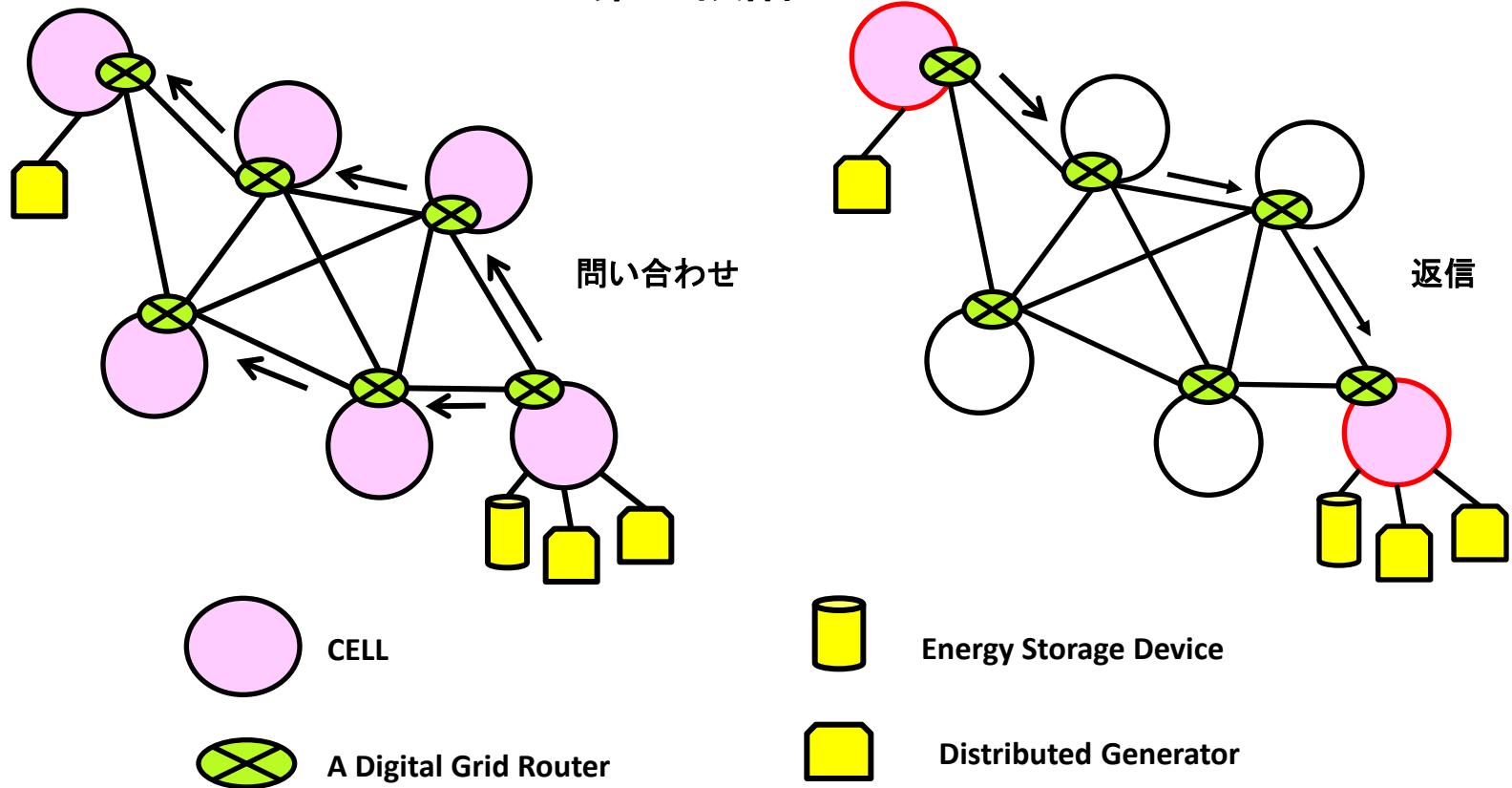
能動的電力融通シミュレーション



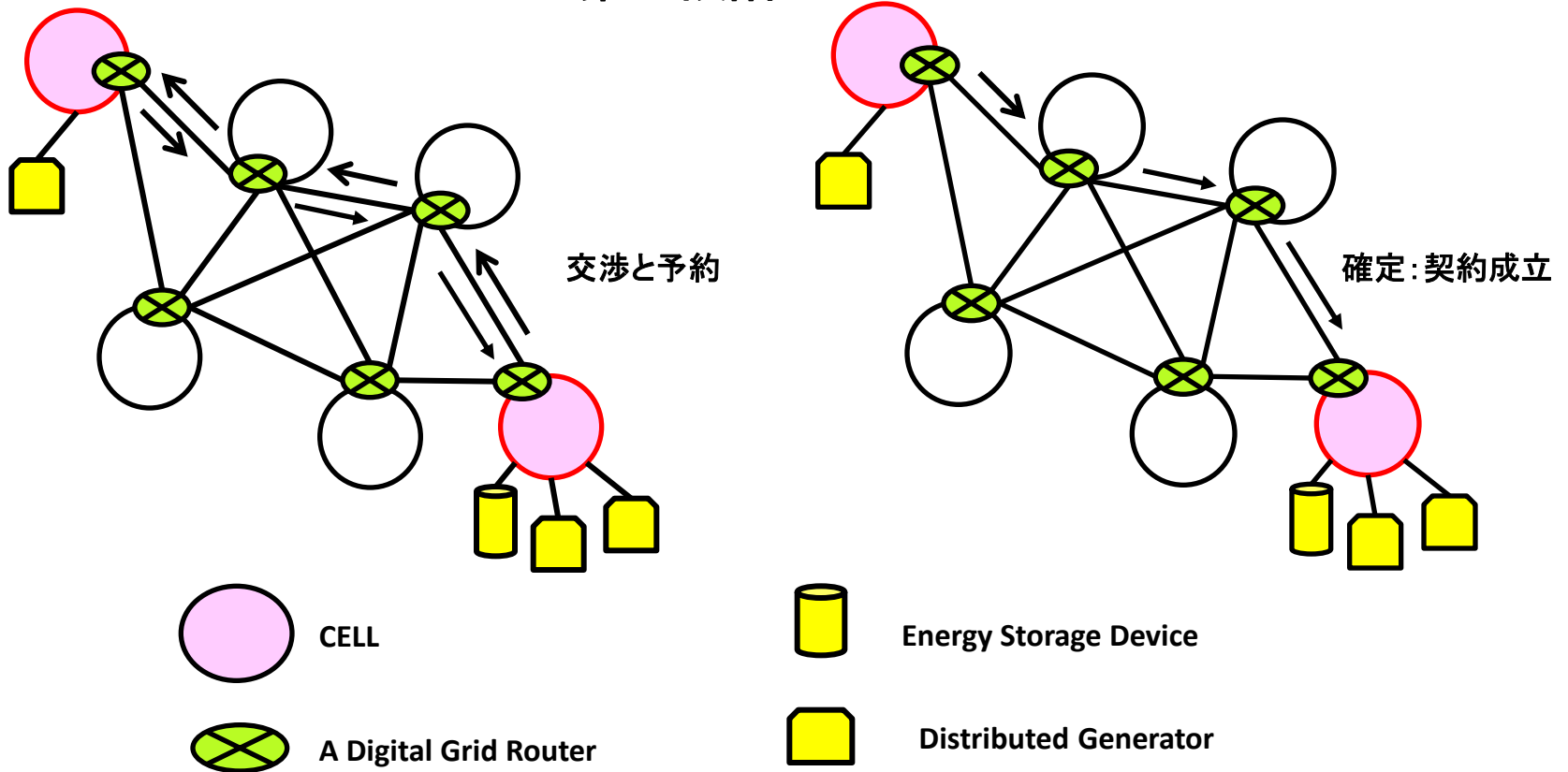
デジタルグリッドにおける電力融通

オンデマンド供給(問い合わせと返信)

第一段階

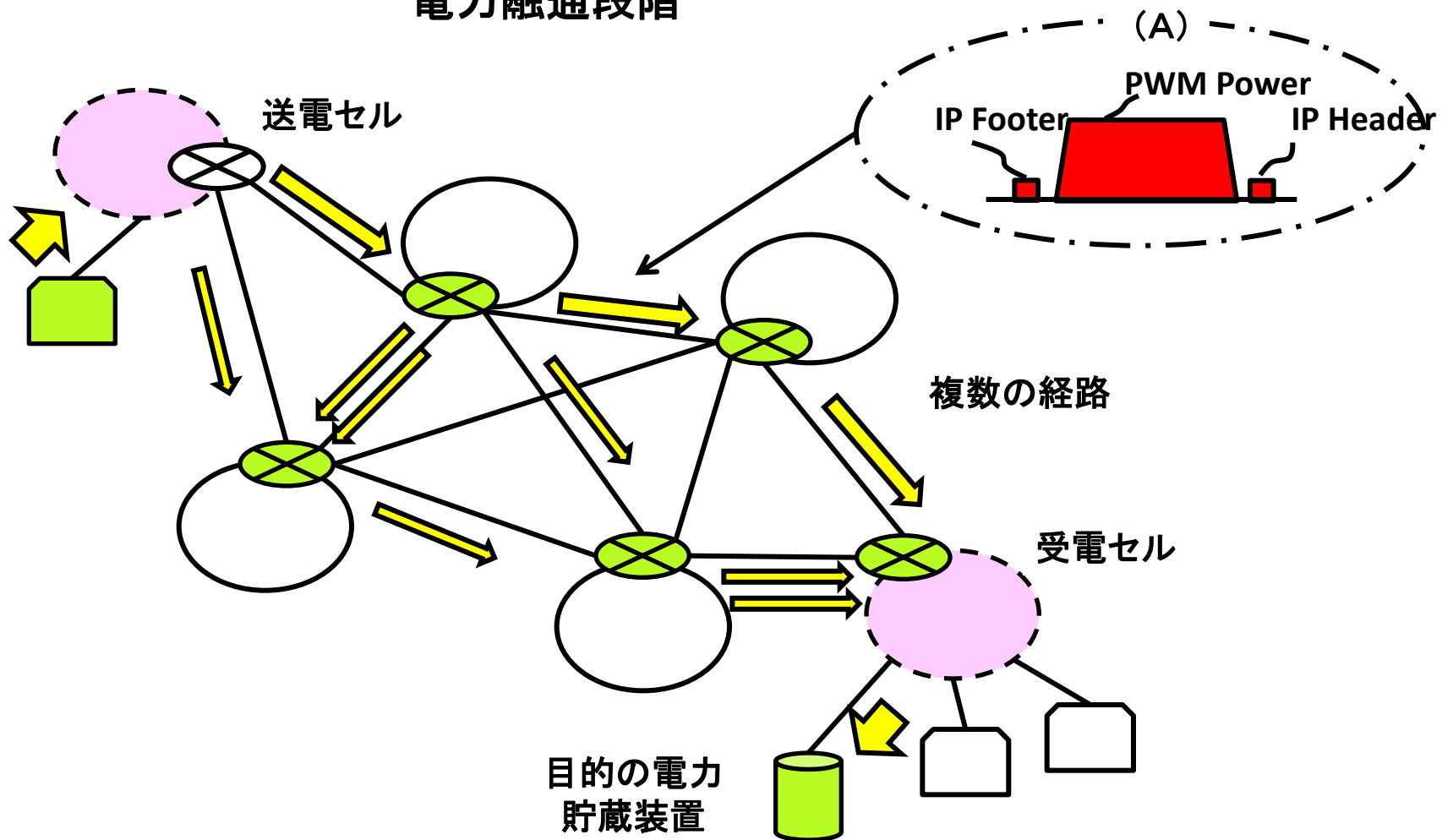


第二段階



経路多重化電力融通方式

電力融通段階



State of California • Department of Justice
OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL
Edmund G. Brown Jr.

News Release

September 29, 2010

FOR IMMEDIATE RELEASE

Contact: (510) 622-4500

Brown Lauds Passage of the Nation's First Energy Storage Bill

SACRAMENTO - Attorney General Edmund G. Brown Jr. today hailed the signing of AB 2514 (Skinner), the country's first energy storage bill, as "a major step towards energy independence."

Brown sponsored the new law to facilitate the development of solar and wind power, create jobs and increase California's energy independence by providing a mechanism for storing wind and solar power for use at times it can't be generated, such as nighttime. Governor Schwarzenegger signed the bill this afternoon.

"Californians want clean, renewable energy, and energy storage is an important part of that," said Brown. "This law will help reduce global warming emissions, improve air quality, and will be a major step towards energy independence."

The law will jumpstart the state's energy storage industry and lead to the creation of up to 10,000 manufacturing jobs, according to the California Energy Storage Alliance. Companies already have invested in some technologies for storing energy, such as using a thermal reserve or pumped hydroelectricity. Newer technologies include storing energy in various kinds of large-scale batteries, transforming it into flywheels and compressing it into air fields.

Energy storage is important for an expanding renewable energy future because solar and wind power are not available at all times. Increasing storage allows California to take greater advantage of its renewable resources while making our electric power grid more reliable.

Expanded storage will also protect public health by reducing the need for the most polluting "peaker plants" that only operate during peak demand, usually during the summer when air conditioners in the state are in most intense use.

Attorney General Brown has fought to protect California's environment and worked to build a clean-energy infrastructure for the 21st century. He has successfully defended the state's landmark clean cars law, leading to improvements in fuel efficiency nationwide, and has worked with local governments to ensure that their long-term growth plans improve air quality by reducing traffic and greenhouse gas pollution. For more information, please see: <http://ag.ca.gov/globalwarming/>

電気の記録・取引・決済

電気の融通記録をすべてデジタルグリッドルーターの中に記録する。
取引の決済は、銀行のような決済機関が行う。
サービスプロバイダーの大きな役割となる。

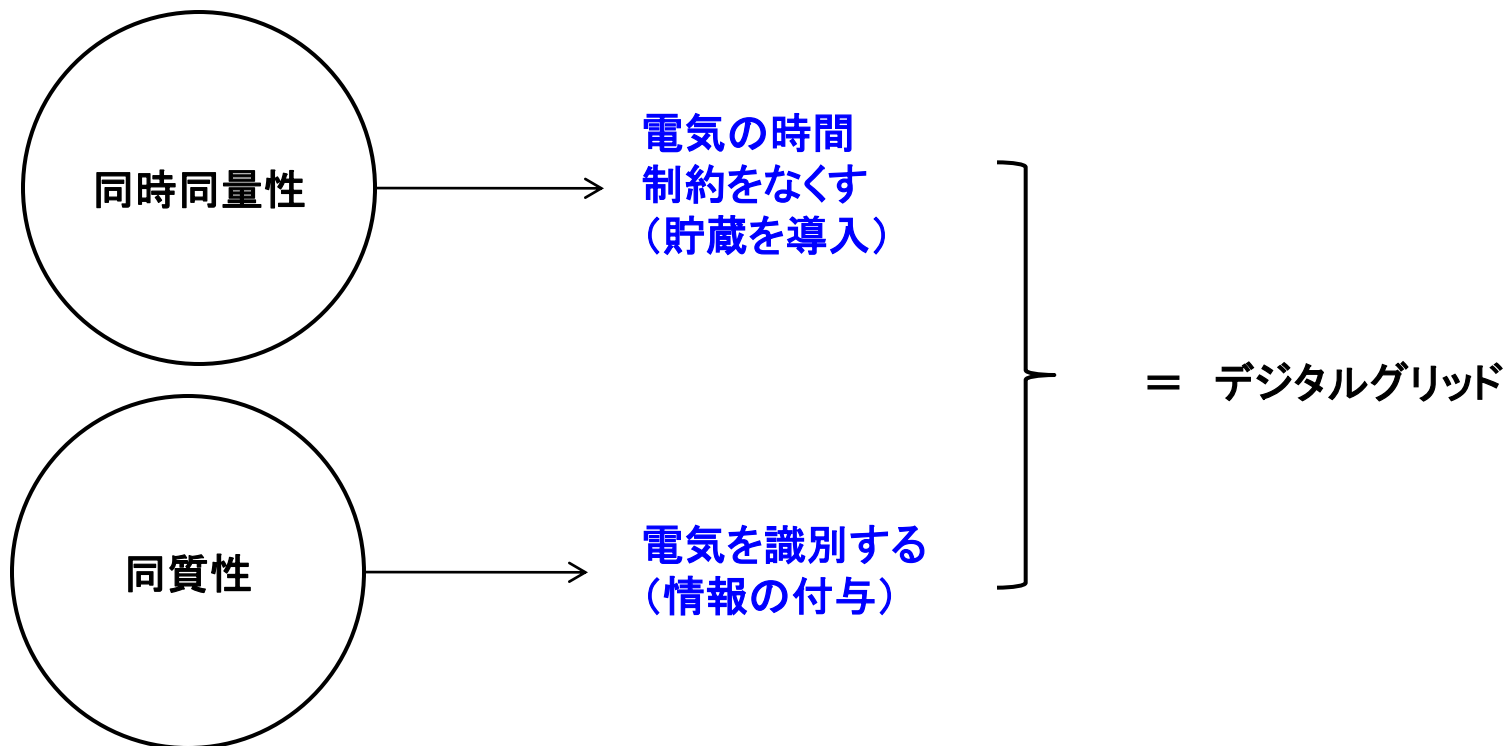
年月日	開始時間	終了時間	From	To	入力			出力			Loss (kWh)	残容量 (kWh)	残高 (円)
					kWh	tariff	money	kWh	tariff	money			
2009/12/10	9:01:25	10:05:46	A		256.56	15.62	4007.47				12.8	243.76	-4007.47
2009/12/12	15:32:14	18:23:41		B				125.63	14.32	1799.02	6.3	111.83	-2208.45
2010/1/3	21:36:30	23:25:46	C		4687.12	8.36	39184.3				234.35	4564.6	-41392.77

デジタルグリッドのもたらすもの

世界が直面する問題に対する本質的な課題は、電気の時間的制約をなくし、識別すること、これが可能な世界をアナロググリッドに対比してデジタルグリッドと呼ぶ。

原因はこの「常識」

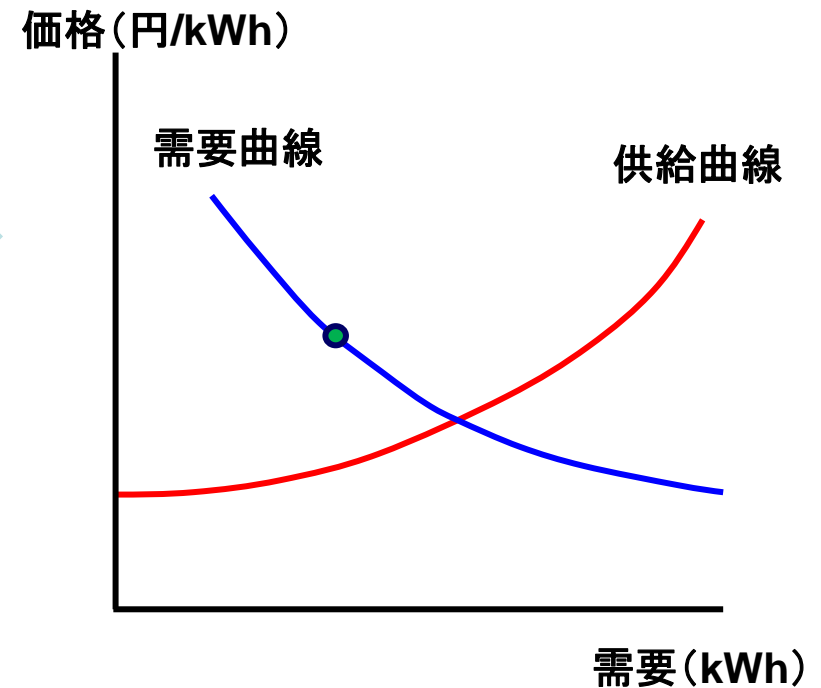
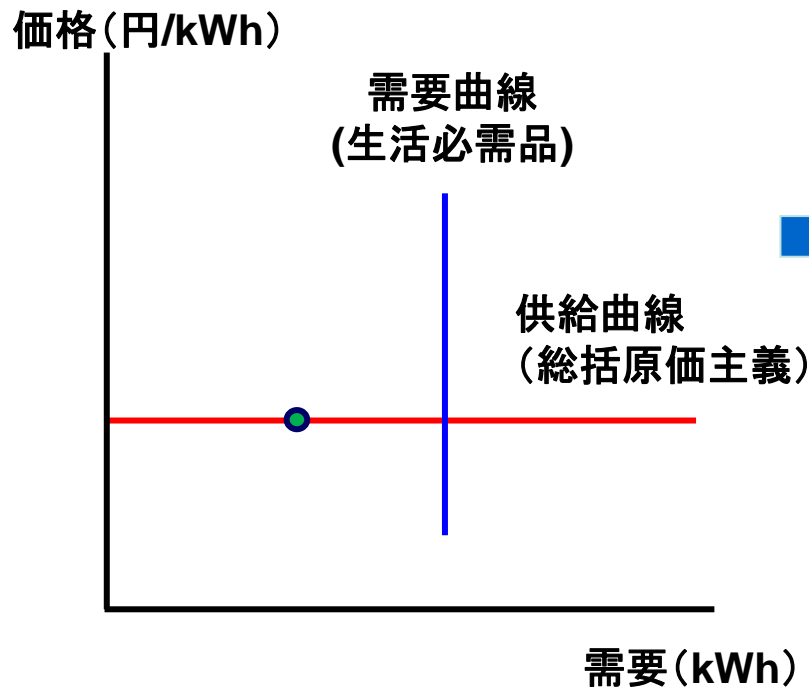
解決すべき課題



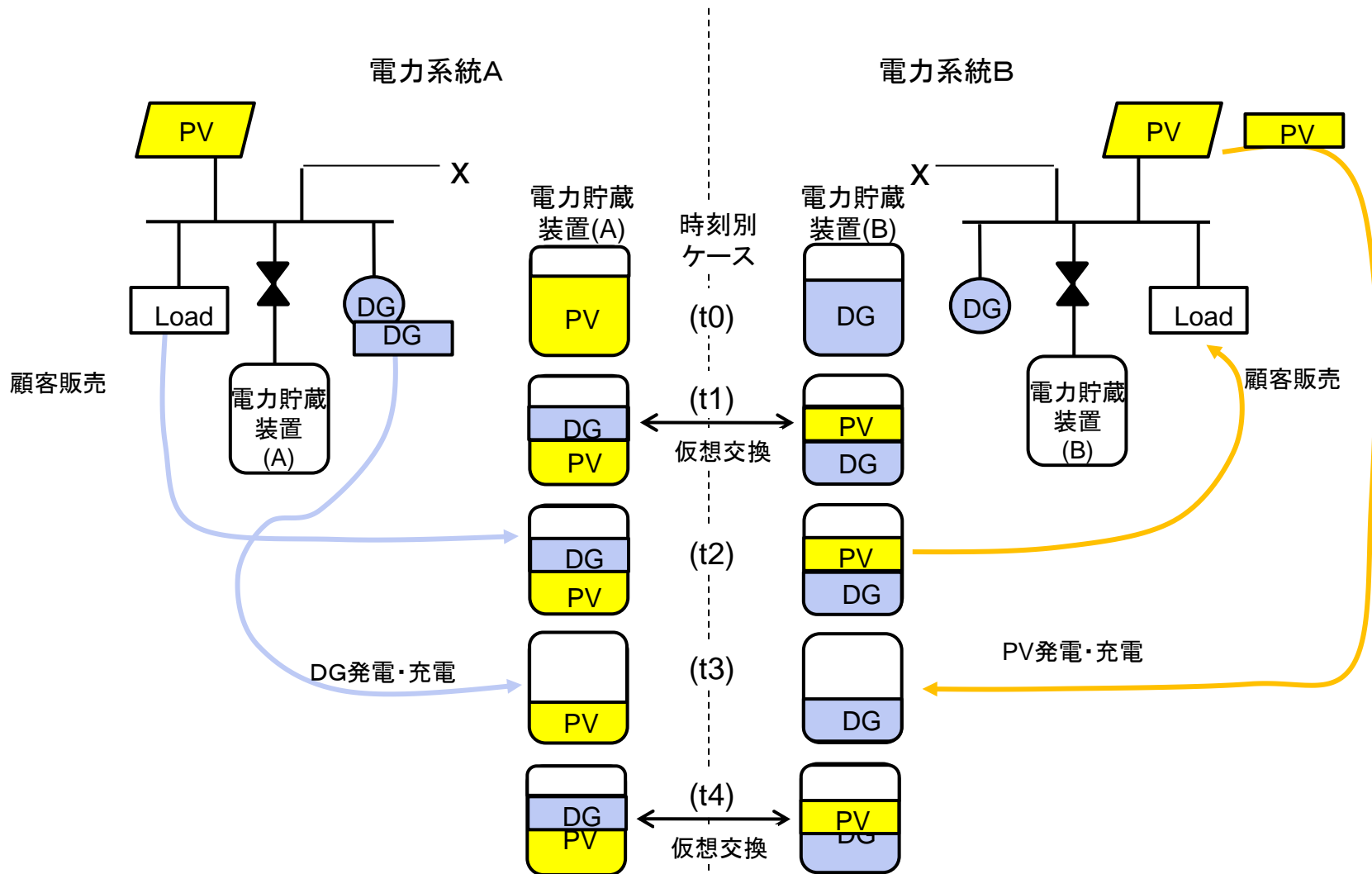
電力の需給曲線

電気は需要に対し
常に過不足なく、かつ一定価格で
供給することが義務付けられている

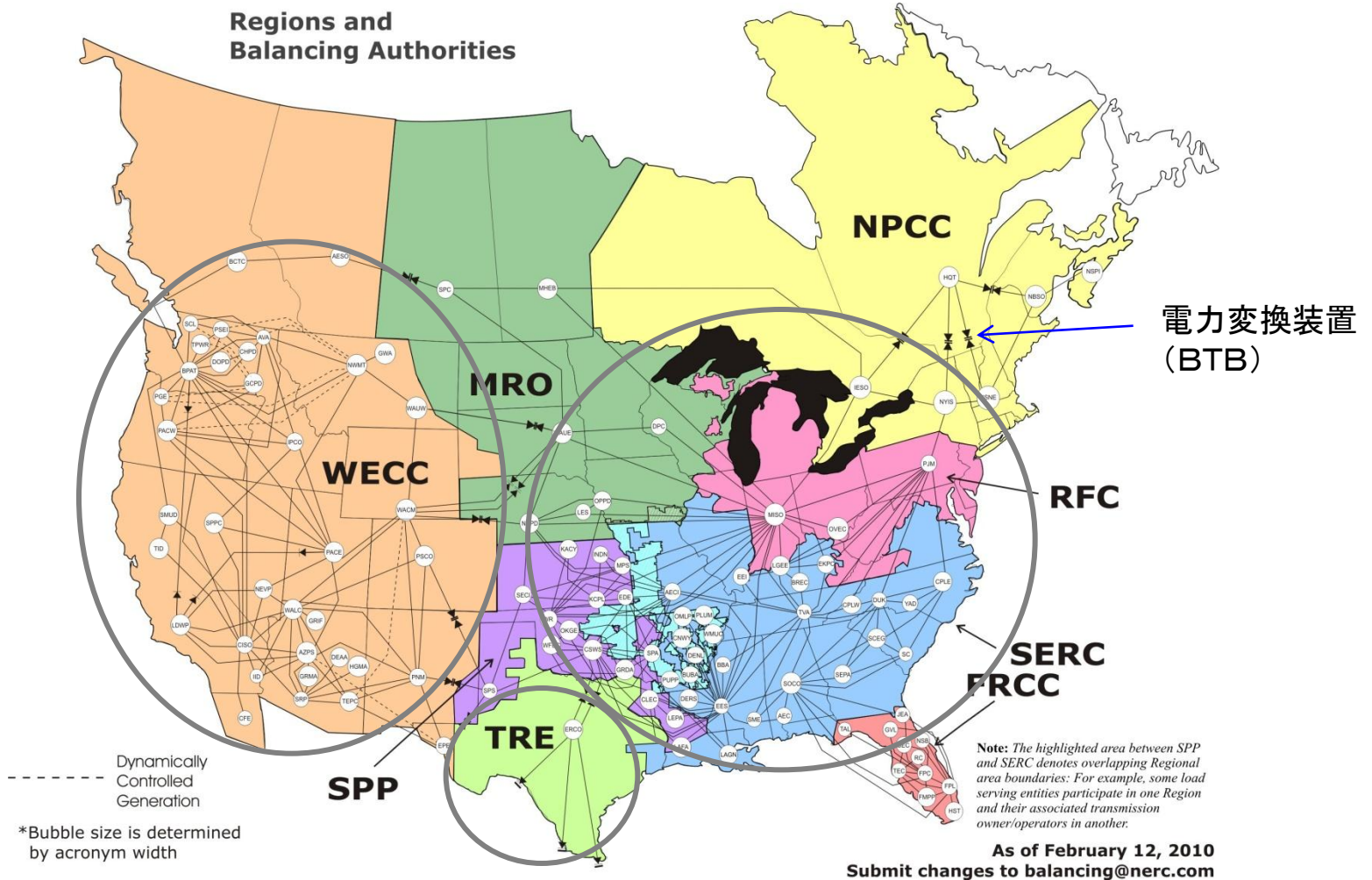
品質に時間や発電源による差が
生じることにより、交差する需給曲
線が描かれ競争市場が機能する
ようになる



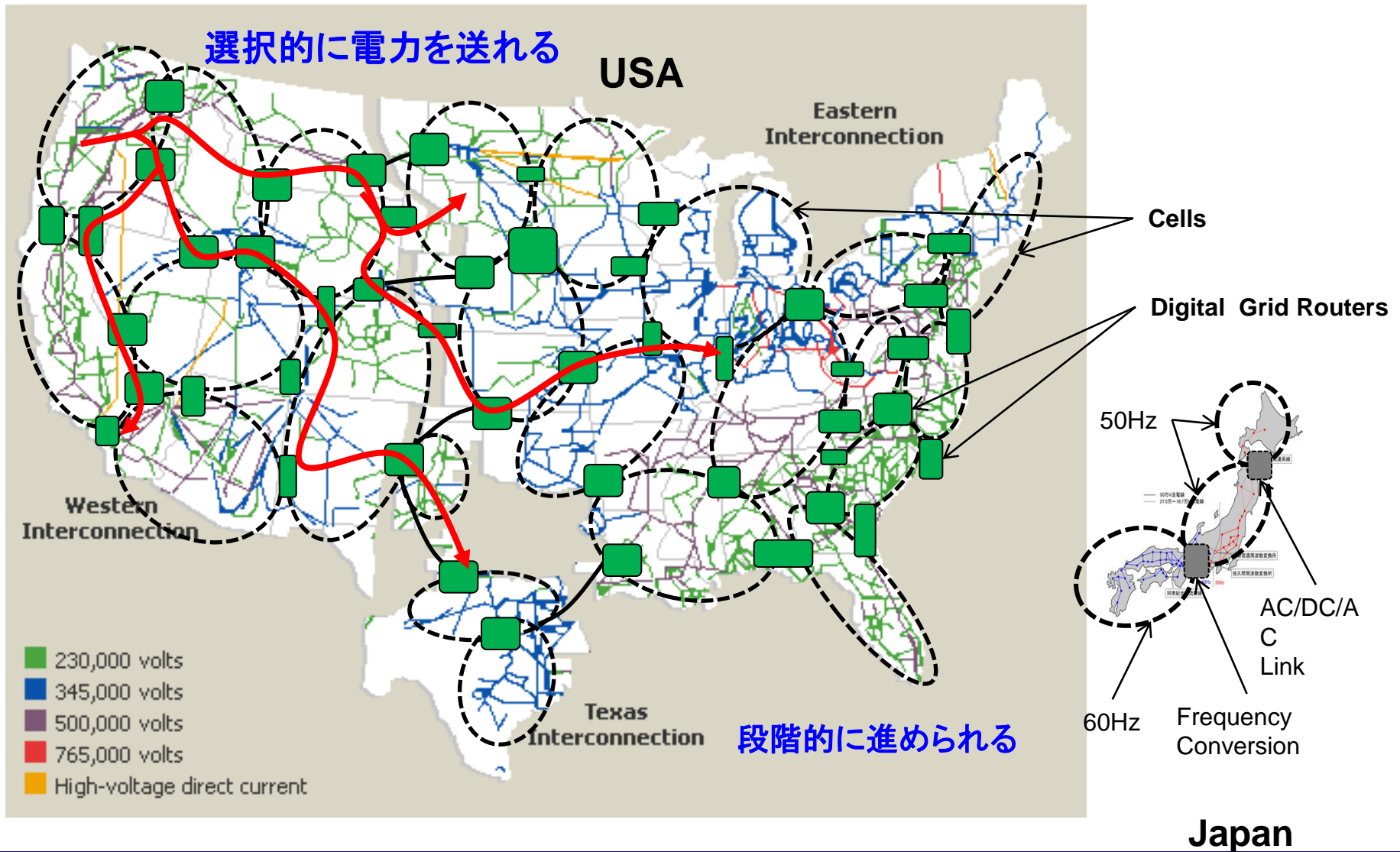
電力仮想交換



米国電力系統での適用

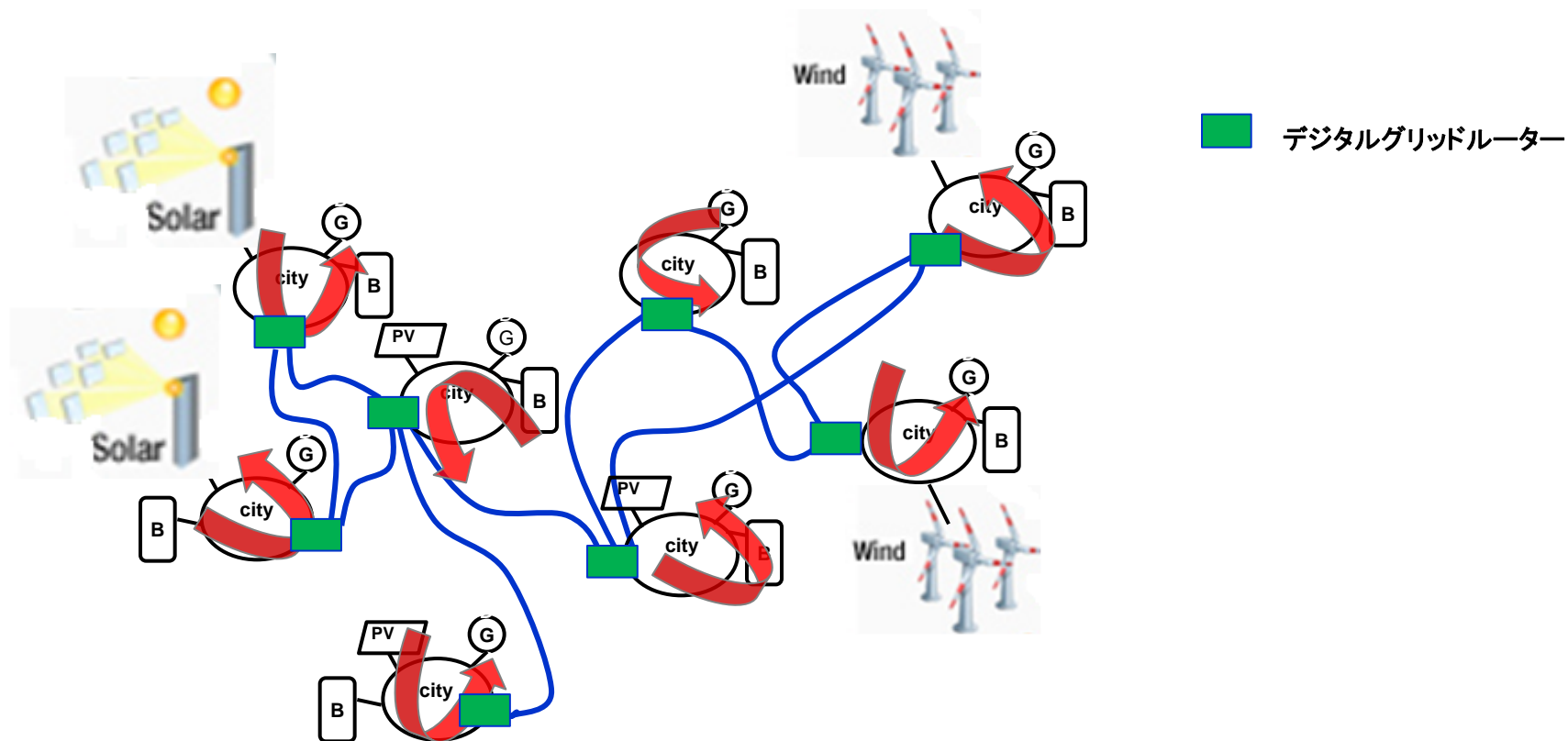


デジタルグリッドのイメージ(先進国)



電気系統の結合（新興国・開発途上国）

大規模発電⇒長距離送電⇒変電⇒配電の先進国型ビジネスモデルは、成立しにくい。
自立したセル状の電力系統をデジタルグリッドルーターで非同期連系する。



デジタルグリッドのもたらす効用

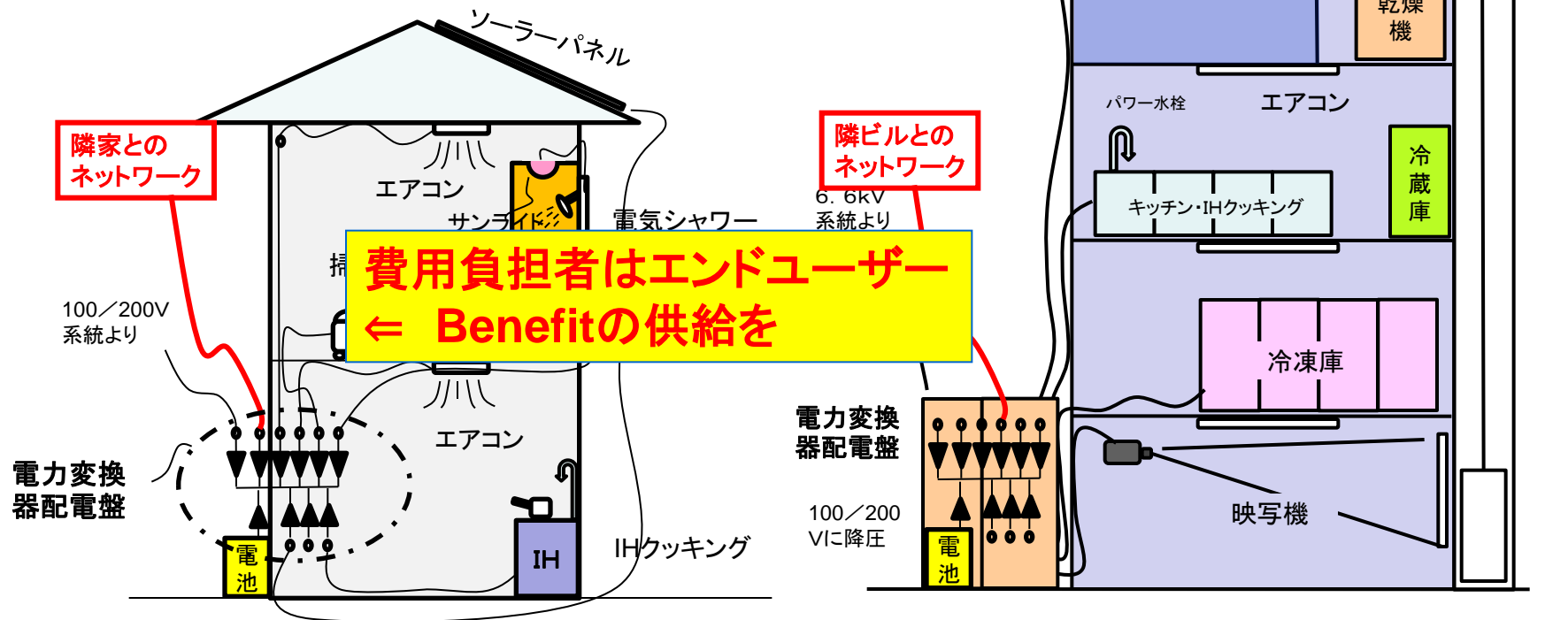
分散型電力供給が中心となっている新興国・途上国などにおけるグリッド構築

⇒成長度合いに応じて、適切なグリッド間を非同期に連系する、柔軟でアドホックなグリッド構築ができる。



始まりは身近なところから・・・

自然エネルギー由来の電力をふんだんに使う
パワー増大 × 時間短縮 = 省エネ
コミュニティ単位の電力融通



- ・デジタルグリッドルーターを使って、電力をインターネットメールのように目的地に送り込む。
- ・系統強化や直流送電のように新たな送電線を作らず、既存の送電線の利用率を向上させる。
- ・電力に情報を付けて、識別可能にし、商品のように取引を行う。
- ・先物・デリバティブなどが生まれる。CO2価値、RPS価値など様々な価値が取引される。
- ・REをふんだんに取り込んだ分散型のCELLグリッド化していき電力の自給自足を行う。

新興国では、

- ・大規模発電所、長距離送電線、同期系統化ではなく、
- ・すでにある都市や郡単位のCELLグリッドにデジタルグリッドルーターを設置し、網目状に交流送電線を接続していく。
- ・お互いに電力を融通しあい、共に成長していく。

デジタルグリッドで可能となる無尽蔵エネルギーの分散供給は、世界の人々の暮らしを変え、経済活動を活性化し、世界に持続可能な成長をもたらす。

**電力の世界に真の意味の競争市場経済が持ち込まれ
効率的な成長が始まる**

**無尽蔵な自然エネルギーの利用により、エネルギー制
約がなくなり、持続的経済成長が図れる**

**世界電化によって、人類全体の教育・生活水準が向上
し、南北問題の解決につながる。**

電力システムにおけるグリーン イノベーションの可能性

This presentation was prepared by:

特任教授
阿部 力也

2011年6月10日

東京大学大学院 技術経営戦略学専攻
社会戦略投資学寄附講座（アドバンテッジ・パートナーズLLP）

〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1 工学部3号館
Tel : 03-5841-0479
Mail : abe-r@tmi.t.u-tokyo.ac.jp
URL : <http://www.sselab.t.u-tokyo.ac.jp/kifu/index.html>



This document is protected under the copyright and any applicable laws in Japan as an unpublished work. This document contains information that is proprietary and confidential to Socio-Strategic Engineering/ Investment Labo. or its technical alliance partners, which shall not be disclosed outside or duplicated, used, or disclosed in whole or in part for any purpose other than to evaluate Socio-Strategic Engineering/ Investment Labo. Any use or disclosure in whole or in part of this information without the express written permission of Socio-Strategic Engineering/ Investment Labo. is prohibited.

© 2010 Socio-Strategic Engineering/ Investment Labo. All rights reserved.