

大規模集中型エネルギーシステムからネイチャーグリッド  
による分散型再生可能エネルギーシステムと自律型  
エネルギーシステムへと移行する提案

(株) ホクスイ設計コンサル

高野 義昭

# 1. はじめに

大規模集中型エネルギーシステムの代表格の電力系統は水力・火力・原子力発電等がある。また、化石燃料としては石油、石炭、都市ガス等の化石燃料がある。

分散型エネルギーシステムや自律型エネルギーシステムとして位置付けている再生可能エネルギーは太陽光・風力・地熱発電等があり、また新エネルギーとしてコージェネレーション等の燃料電池がある。現在の日本国では大規模集中型がほとんどを占めており、非常にリスクをおったエネルギー対応となっている。

その第1は、石油輸入依存率約100%を始めとしてほとんどの化石燃料を外国に依存しているのが現状である。又、水力ではダム建設の限界となっているため大幅な増設を見込めない。原子力発電に至っては、想定外の大地震や災害及びテロ集団や、戦争による他国からの的となりやすく、そのリスクは非常に高いものである。

又、一方で自然エネルギーの再生可能エネルギーでは気象条件の影響を受けやすく発電効率が悪い為、既存電源と比較してコストが高くなり、利用率の向上には一定の限界がありました。しかしながら、太陽光発電では日射量、時間、風力発電では風の状態をあらかじめ予測できたなら、発電効率に関する課題を解決する事となり、複合エネルギー機器を使用し制御を行う事により問題の解決となり得る事を見出した。

よって日本のエネルギー戦略の一つとして、大規模集中型から自然エネルギーを最大限利用し、エネルギー分散型や自律型エネルギーに移行し、リスク分散型とし中東等他国への依存度を少なくしていく事にある。以上の事から次のような長期戦略を建てていくべきと考える。

## 2. エネルギー中長期戦略

- ① ネイチャーグリッドによるエネルギー需給とはその地区で得られる自然エネルギー（再生可能エネルギーを最も利用）と新エネルギーで構成され、スマートグリッド（需要と供給の把握）やマイクログリッド（需要地系統）の総称である事をいう。
- ② 自然環境（日照時間、風量など）の情報を処理し、負荷予測（アルゴリズムや天気予報等）に応じたシステムコントローラにより自律又は協調運転を行う。
- ③ 地域内融通型電力供給システムと熱エネルギーのカスケード利用による供給システムである事。  
更にHEMS（家電等のエネルギー制御）、BEMS（ビル内エネルギー管理）、CEMS（情報通信管理）の運転管理等を行う。
- ④ 各戸建には再生可能エネルギーを中心とした機器と新エネルギー機器を設置させ、システムコントローラにより複合エネルギー機器の協調制御を行い、自家発電所としての役目を持たせる。又各地域においても独立したシステムコントローラによりCO<sub>2</sub>の削減化と経費の削減化及び更なる省エネルギー化を図り最適制御により原則エネルギー（電力及び熱供給）の地域における自給自足を目指す。
- ⑤ その後の発電した余剰エネルギーは国または第2，第3の電力会社が買い取りその余剰エネルギーを次世代送電線にて送電し他のエネルギーを必要とする施設へ売電していく。その後には電力・熱エネルギーの自由化促進（発電・送電・配電 etc）をしていく事が必要である。
- ⑥ また、近年2008年現在日本近海には世界有数のメタンハイドレード埋蔵量を誇っている。天然ガス換算で約7.4兆m<sup>3</sup>と推計されているが、海底深くで低コストで採掘が可能となれば日本はエネルギー資源国になり得る。
- ⑦ ネイチャーグリッドの普及やメタルハイドレード及び石油になる藻（オーランチオキトリウム）等のエネルギー資源の開発までには日本近海やサハリン等に埋蔵している天然ガスの確保に努めるべきと考える。

### 3. 自給自律エネルギーシステムと融通電力について

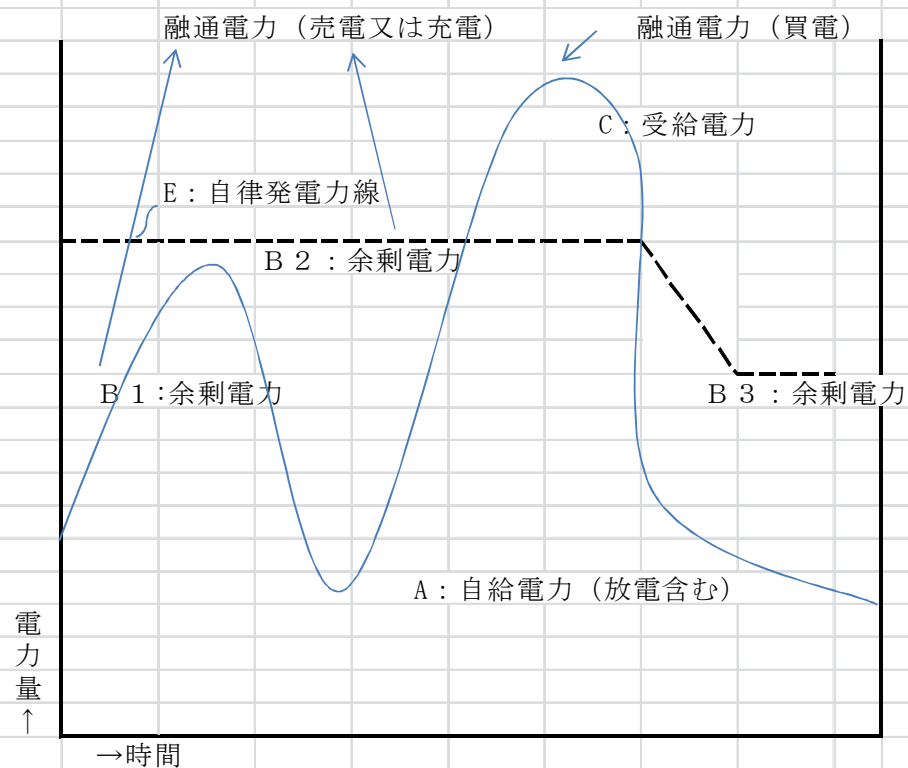
A : 自給自律エネルギー (CO<sub>2</sub>削減・省エネルギーで費用最小・最適エネルギー設備)

B : 余剰エネルギー (国又は第2, 3電力会社等) 売電又は充電 B1 + B2 + B3

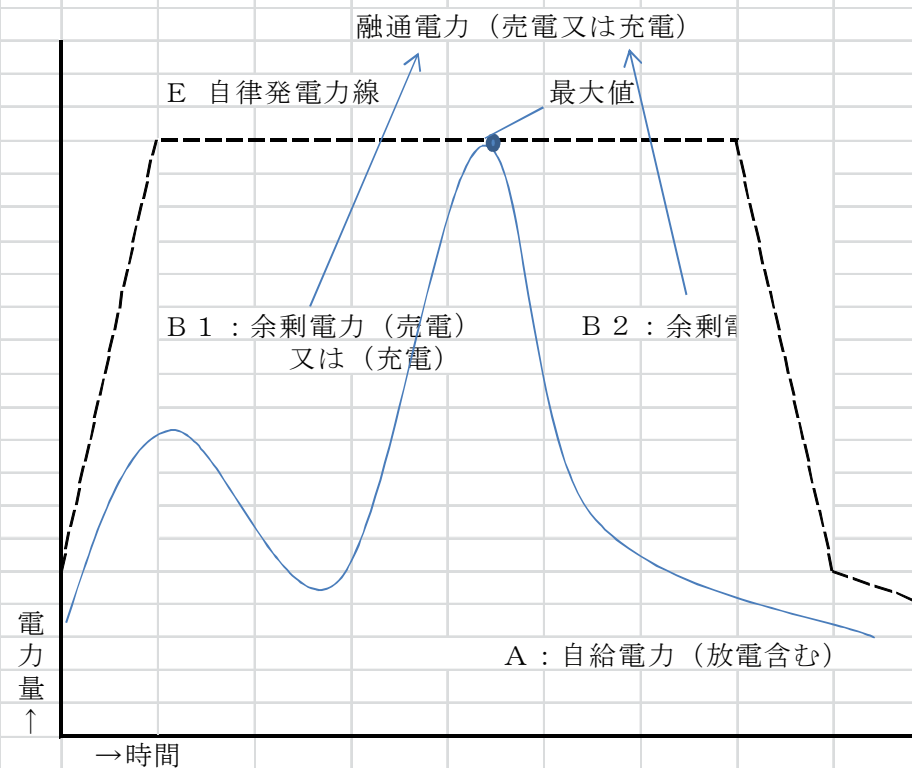
C : 受給エネルギー (同上) 買電又は放電

E : 自律エネルギー境界線 (自家発電可能エネルギー最大値)

1) 受給を必要とする場合



2) 自給が十分である場合

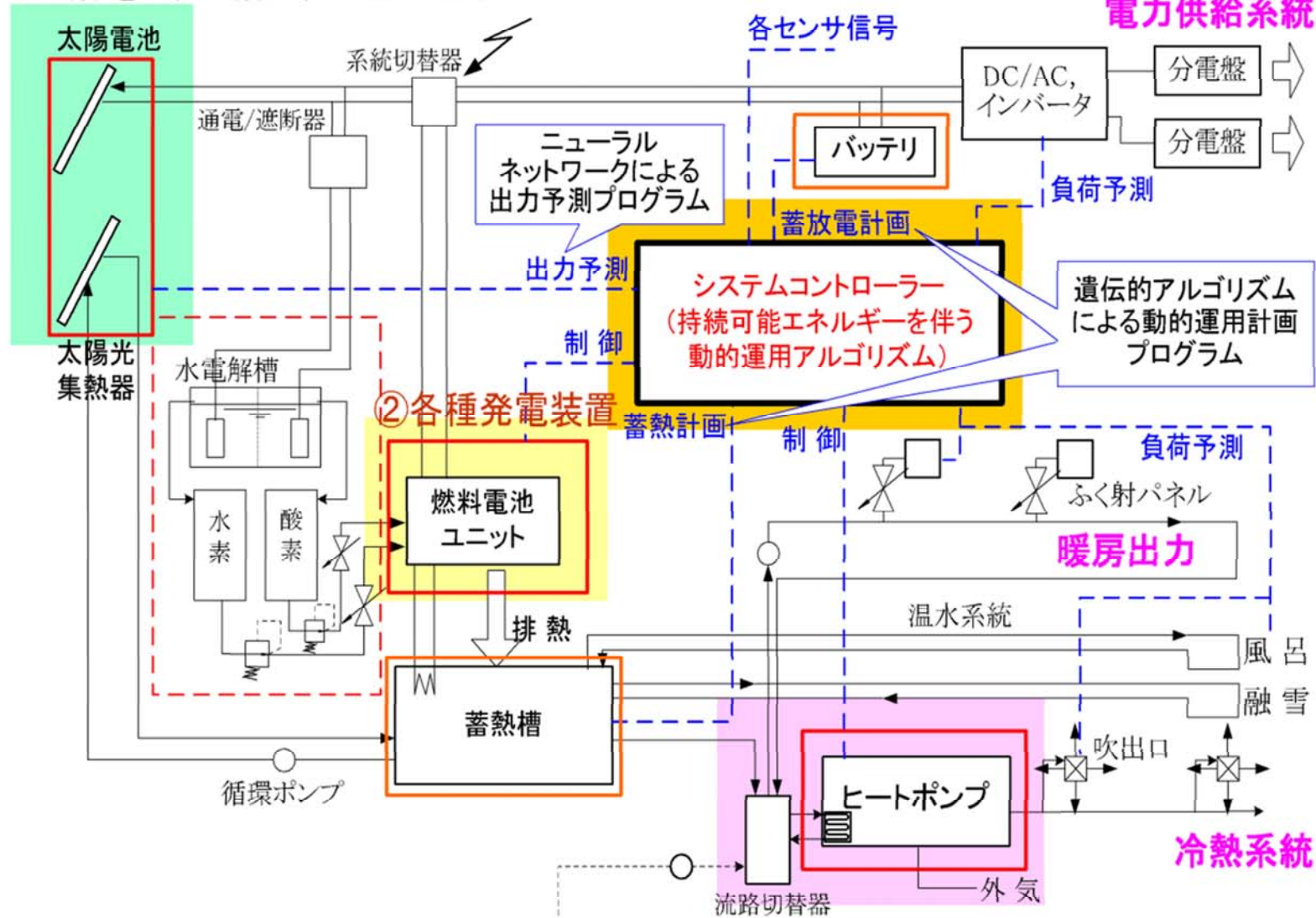


## 4. ゼロカーボンハウスの開発

- ゼロカーボンハウスを実現するには、持続可能エネルギーを伴う複合エネルギーシステムの運用を最適化するシステムコントローラが必要である。
- 出力が不安定な自然エネルギーを伴うエネルギーシステムの運用では、蓄電や蓄熱に関する運用方法が適正に計画されないと、過剰設備の導入、燃料消費・温室効果ガス排出量の増加が生じる。
- そこで今後拡大が予想される、持続可能エネルギーを伴う複合エネルギーシステムの動的な運用最適化プログラムを開発し、このプログラムを導入したシステムコントローラを開発した。
- システムコントローラには（A）遺伝的アルゴリズムを用いた動的運用計画の最適化アルゴリズムと（B）ニューラルネットワークを用いた気象予測アルゴリズムがインストールされている。
- さらにシステムコントローラにはセンサ信号の入力部分と、各エネルギー機器の運転を制御するための出力部分がある。
- 本研究で想定する複合エネルギー機器としては、出力制御が可能な発電機器（ガスエンジン、ディーゼルエンジン、燃料電池など）と持続可能なエネルギー機器（例えば太陽電池、太陽光集熱器、小型風力発電機）未利用エネルギー機器（地中熱ヒートポンプなど）、蓄熱槽、蓄電装置、従来機器（ボイラーや空気熱源ヒートポンプなど）である。

# ◆ゼロカーボンハウスの開発◆

①持続可能エネルギー機器  
(太陽電池, 太陽熱, 小型風力など)



③未利用エネルギー機器  
(地中熱, 雪氷, 井水の高度利用(ヒートポンプ))

## 5. 複合エネルギーシステムの協調制御

- 従来の住宅や集合住宅などへのエネルギー機器の導入では、個々の機器を独立して運転する自律分散での利用であった。これに対して蓄熱および蓄電を伴う複合エネルギーシステムでは、システムコントローラに入力して目的関数の下で、すべての機器が協調して運転制御される。
- そこで、各機器の運転を制御するためのネットワークを構築する。
- システムコントローラでは、自然エネルギー機器の出力予測と負荷予測の結果に基づいて、蓄積装置と蓄熱槽でのエネルギーの貯蔵量を予測し、それぞれの入出力のタイミング（即ち運用方法）を計画する。
- ただし、複合エネルギーシステムには、次に述べる「目的」を与えなくてはならない。

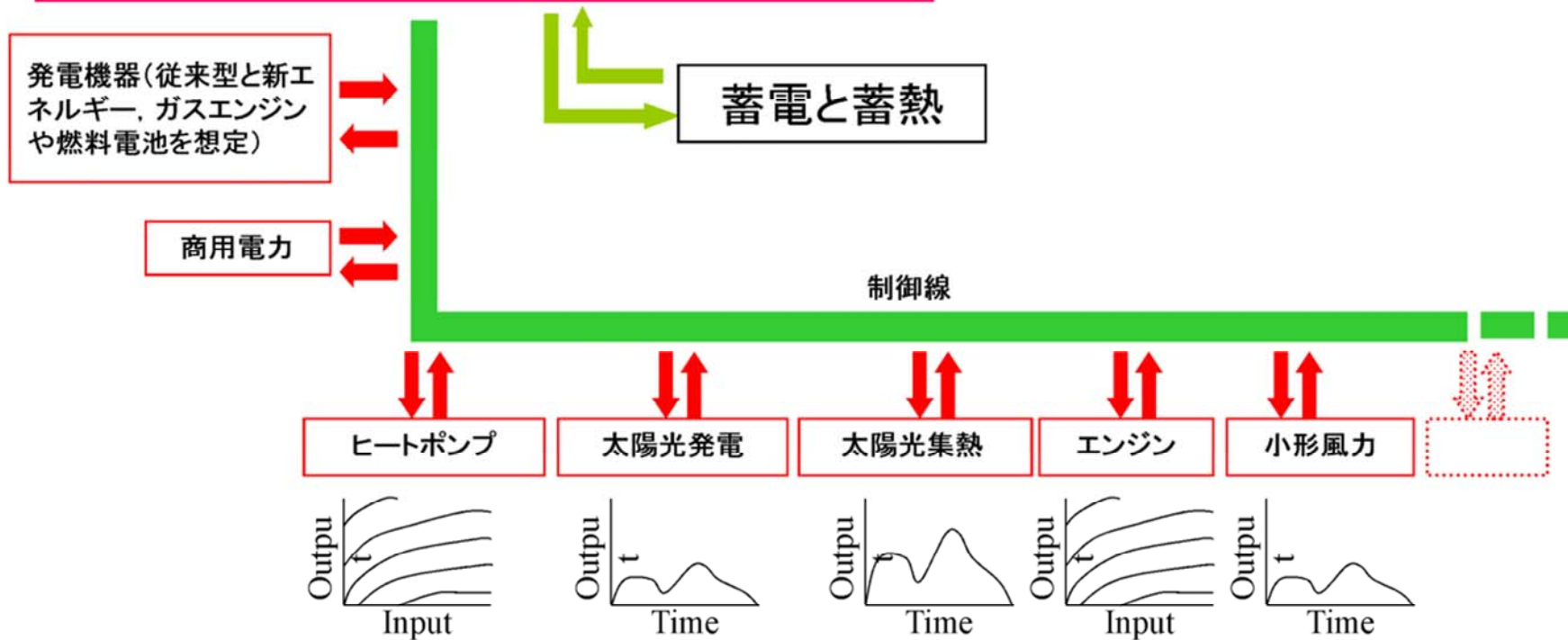
# 複合エネルギーシステムの協調制御

## ■ 自律分散から協調運転制御へ

### 協調運転を達成する制御アルゴリズム

- ・エネルギー貯蔵を考慮した動的運用計画
- ・持続可能エネルギーの出力予測
- ・負荷予測

(蓄電・蓄熱を考慮して、負荷パターンに最も適したシステムの動的運用方法を計画・実行する)



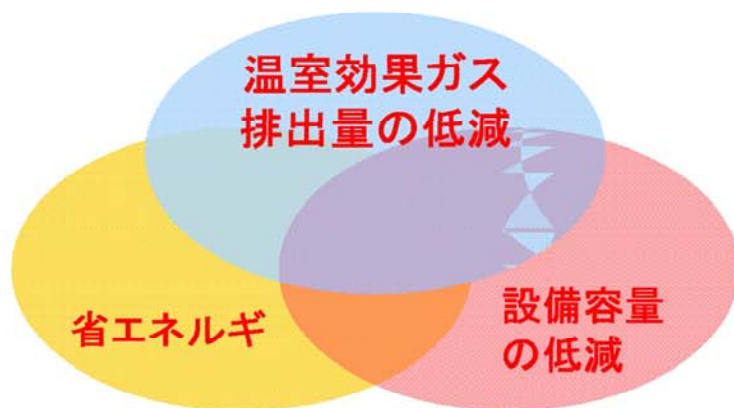


## 6. ゼロカーボンハウスのシステム最適制御

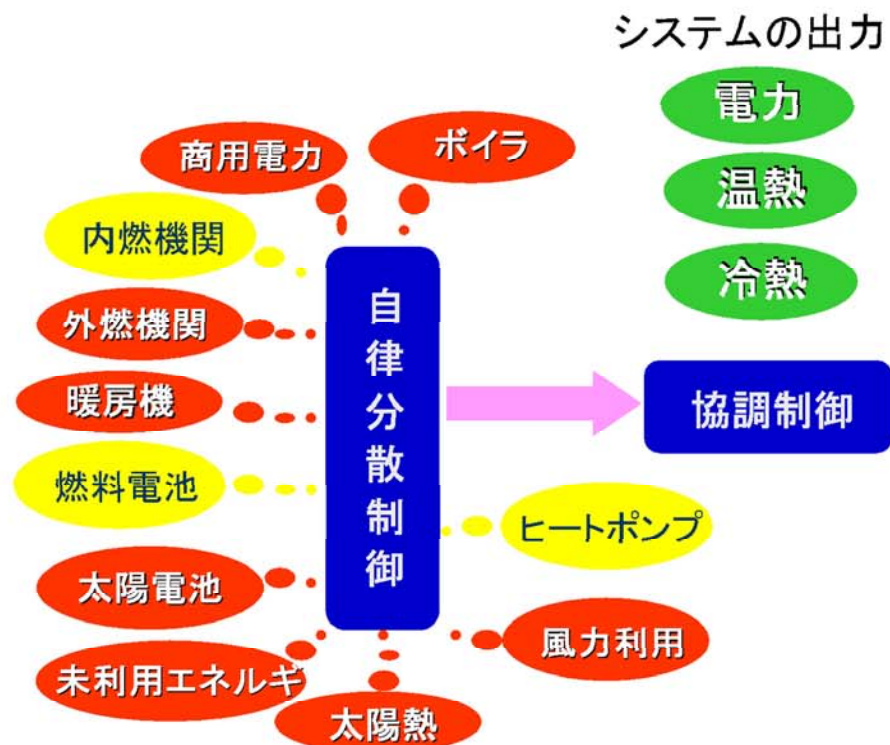
- 複合エネルギーシステムの目的は、「温室効果ガス排出量の低減」、「省エネルギー」、「設備容量の低減」である。
- システムの目的は上で述べたように複数あるため（多目的）、複合エネルギーシステムの運用方法は複数ある。
- これらの目的に関して複合エネルギーシステムを最適化するには、未利用エネルギーの供給量予測、負荷予測、エネルギーの貯蔵・放出計画を解析するためのアルゴリズムと、解析結果に基づいてシステムの運転を制御するシステムコントローラを要する。
- これまで個々に運転していたエネルギー機器を、開発したシステムコントローラにより協調運転することで、「温室効果ガス排出量の低減」、「省エネルギー」、「設備容量の低減」の効果を最大に得ることができる。

# ゼロカーボンハウスのシステム最適制御

## ◎システムコントローラの目的関数



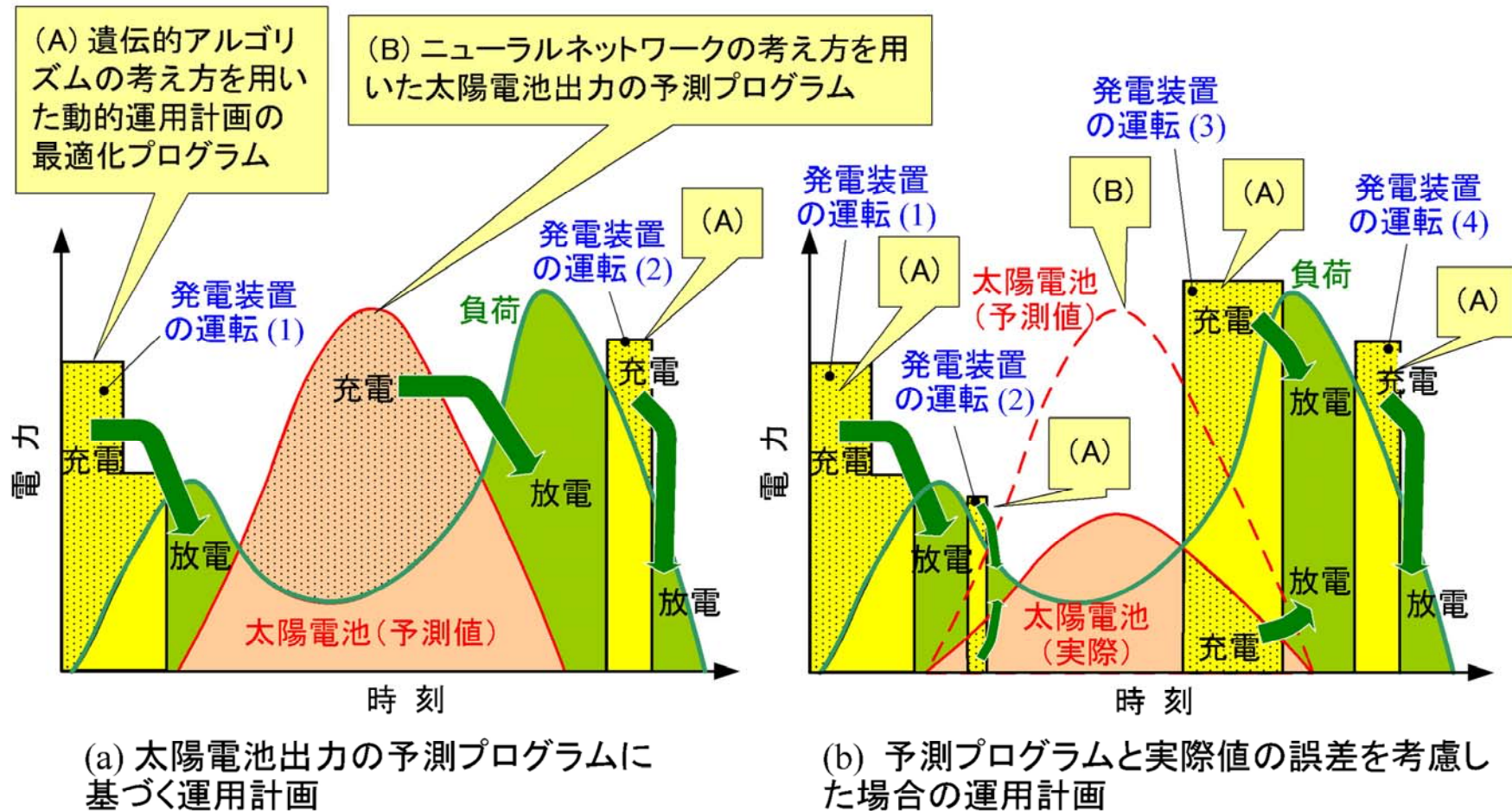
- ◎複合エネルギーシステムの最適化には、
- ①「未利用エネルギーの供給量予測」、
  - ②「負荷予測」、
  - ③「エネルギーの貯蔵・放出の計画」  
が必要



## 7. 自然エネルギーの出力予測プログラムと動的運用計画

- 太陽電池を伴う複合エネルギーシステムの運用計画を例に、システムコントローラで実施する動的運用計画とその制御方法について述べる。
- システムコントローラでは、例えば前日の深夜やその日の早朝に、図（a）に示すような、電力に関する動的運用計画を解析する。
- この動的運用計画では、太陽電池の出力予測を後で述べるニューラルネットワークを用いて計算し、この結果に基づいて次の日（またはその日）の電力貯蔵および電力の入出力の方法を計画する。
- もし、太陽電池の出力予測が実際の太陽電池出力と完全に一致するなら、上で計算した運用計画のとおりシステムは運転する。この場合は、システムに与えた目的を最も満たす運用が実施される。
- しかしながら、太陽電池の出力予測が実際の出力とずれた場合、システムは図（b）に示す運用を実施する。すなわち、最適なシステムの運用方法よりも悪い方法で運用することとなる。本研究で提案する複合システムの運用で、目的関数に関して最悪な運用方法とは、従来に見られる負荷追従運転である。
- このように持続可能エネルギーの出力予測の解析精度は、複合エネルギーシステムの性能に大きく影響を与える。

# 自然エネルギーの出力予測プログラムと 動的運用計画 (太陽電池を伴うエネルギーシステムの例)



## 8. (A)遺伝的アルゴリズム(GA)の考え方を利用した

### 動的運用計画の最適化プログラム

- GAは、多変数の非線形問題の最適化方法として注目されている。
- 本提案では、複合エネルギーシステムの運転方法をGAの染色体図に示すように染色体コードで表す。
- また、染色体コード中の各遺伝子の数字は、個々のエネルギー機器の運転方法を現す。
- 例えば、燃料電池の100%出力が10で、10%出力が10などである。
- このような染色体コードをコンピュータ上で多数生成して、遺伝子操作（突然変異、交差、選択など）を加えて多様性を維持しながら進化させていく。
- 染色体コードの世代を重ねることで、染色体コード中に目的関数をより満たす個体が出現するようになる。
- ただし染色大群のうちで、エネルギー収支を満たさない運用方法を持つ個体や、目的関数をあまり満たさない運用方法を持つ個体は淘汰するように操作する。
- 最終世代の中から、最も目的関数を満たす染色体を取り上げて解読することで、複合エネルギーシステムの動的運用計画を決定する。



# (A) 遺伝的アルゴリズム(GA)の考え方を 用いた動的運用計画の最適化プログラム

## ●GAの染色体コード

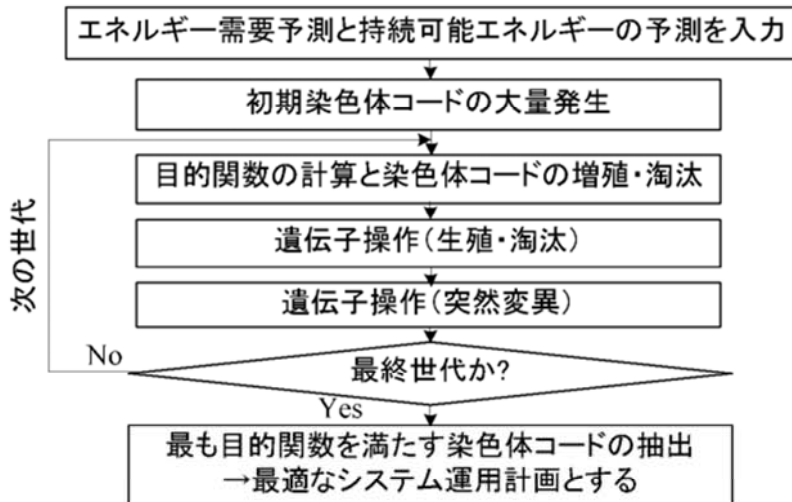
サンプリング時刻でのシステムの運転方法をコードで表現する



遺伝子コード 発電装置その他のエネルギー機器の  
運用方法をコード化して与える

- ・発電装置の運転・停止
- ・バッテリーの蓄電・放電
- ・ヒートポンプの出力量
- ・蓄熱槽の入熱・出熱
- ・弁・ポンプの発停指令
- ...

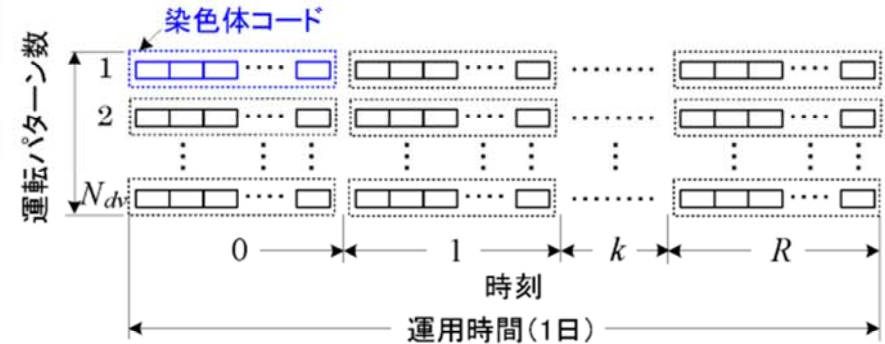
## ●最適運用の探索フロー



## ●GAによる最適運用計画の探索

GAでは、多変数非線形問題の最適化問題を  
扱うことができる

① システムの運用方法をランダムに多数発生させる



② 染色体コードの多様性を維持しつつ、目的をより大きく  
満たすコードを増殖させる

③ 反復計算して(世代を重ねて)、最も目的を  
満たすコードを探し出す⇒**最適な動的運用計画の決定**

## 9. (B) ニューラルネットワーク (NN) の考え方をを用いた

### 持続可能エネルギーの出力予測 (太陽電池の例)

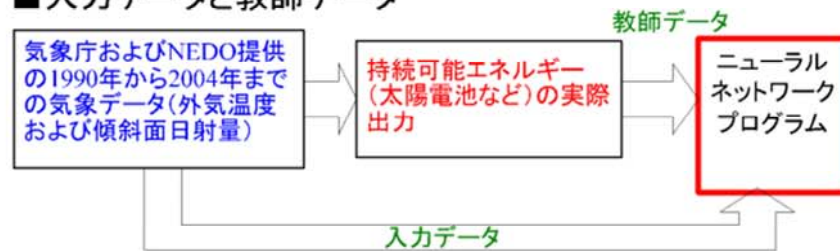
- ・ 階層型ニューラルネットワークの誤差逆伝播法を用いて、これまで予測の難しかった自然エネルギーの出力予測を行う。
- ・ 本研究ではNEDOが提供する1990年から2004年までの傾斜面日射量データ、および気象庁の提供する同年の外気温データを用いてNNを学習させる。
- ・ さらに、同じデータを用いて太陽電池モジュールから出力する理論電力量力を計算し、これを教師データとしてNNの学習に用いる。
- ・ このようにして学習させたNNに、過去24時間の傾斜面日射量データおよび外気温データの実測値を与えることで、現在から24時間先までの太陽電池の出力特性を予測する。
- ・ これまでの研究からこれらの予測誤差を把握しており、複合エネルギーシステムの運用に与える影響も調査している。
- ・ 本研究では、NNを用いた自然エネルギーの出力予測方法をPASと称する。

# (B) ニューラルネットワーク(NN)の考え方を 用いた持続可能エネルギーの出力予測

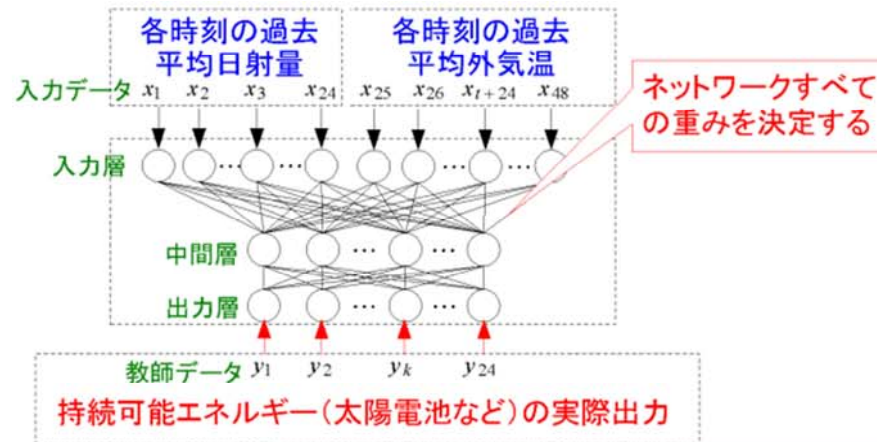
(PAS: Algorithm for predicting the production-of-electricity of a solar cell is developed)

## ◎ NNの学習過程

### ■ 入力データと教師データ

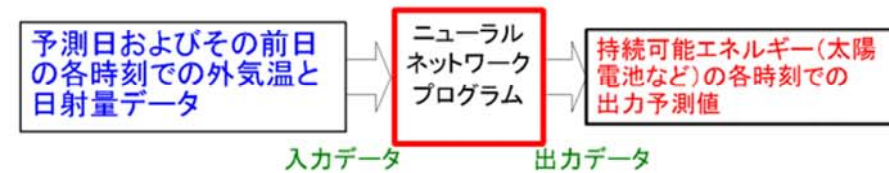


### ■ ニューラルネットワークの構造(学習過程)

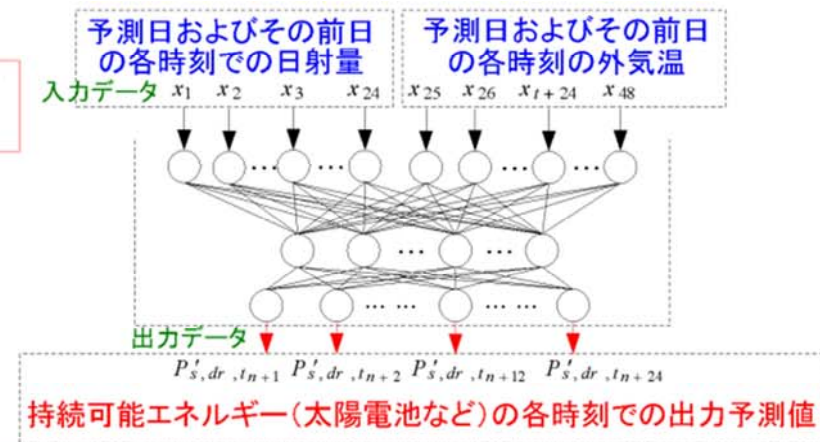


## ◎ NNの解析過程

### ■ 入力データと出力データ(予測結果)



### ■ ニューラルネットワークの構造(解析過程)



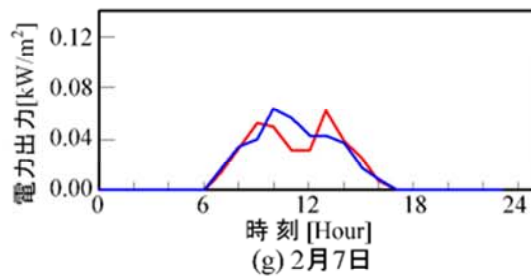
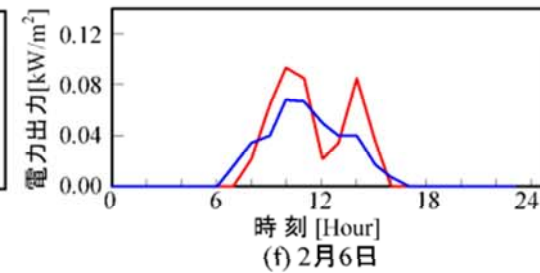
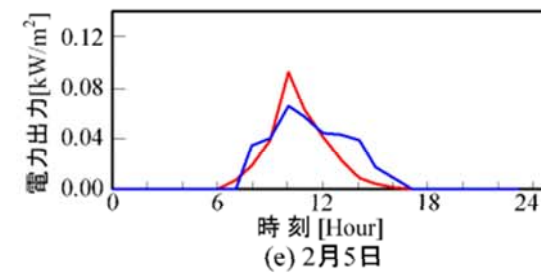
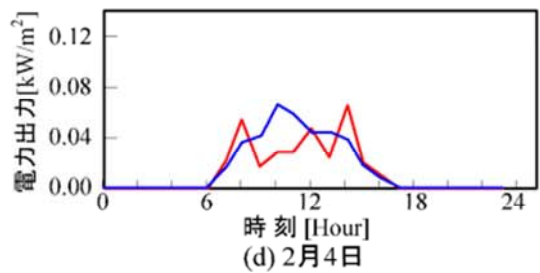
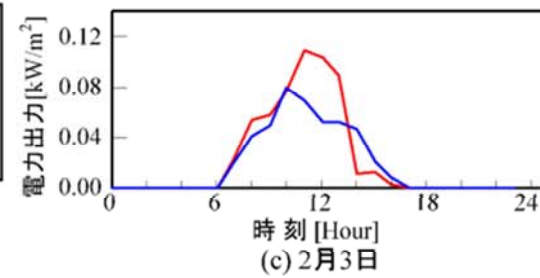
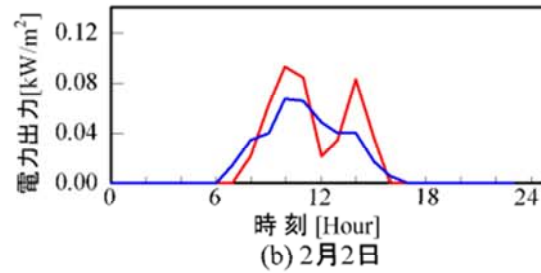
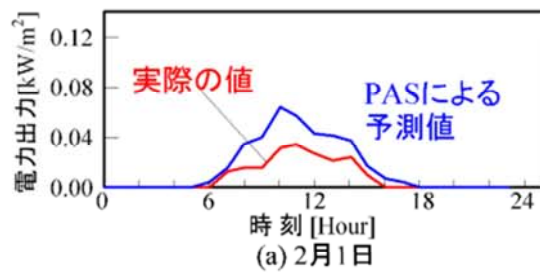
過去の気象データを用いて階層型ニューラルネットワークを学習させ、朝6時にその日の持続可能エネルギーの出力特性を予測する



## 10. PASによる自然エネルギーの出力予測

- ・この図はPASを用いて解析した、札幌市の2月1日から7日での、太陽電池出力の予測結果である。
- ・PASによる自然エネルギーの出力予測方法は、さらに工夫を加える余地はあるものの、低コストでシンプルなコンピューターソフトで実現可能である。

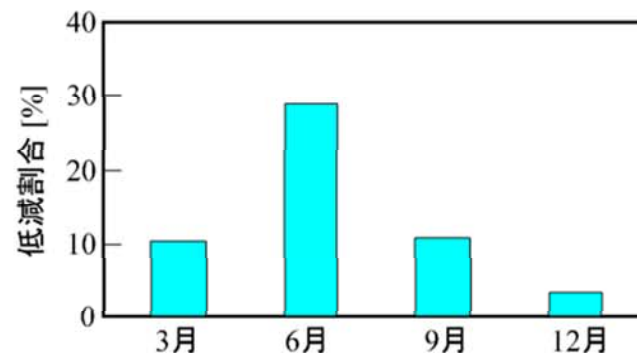
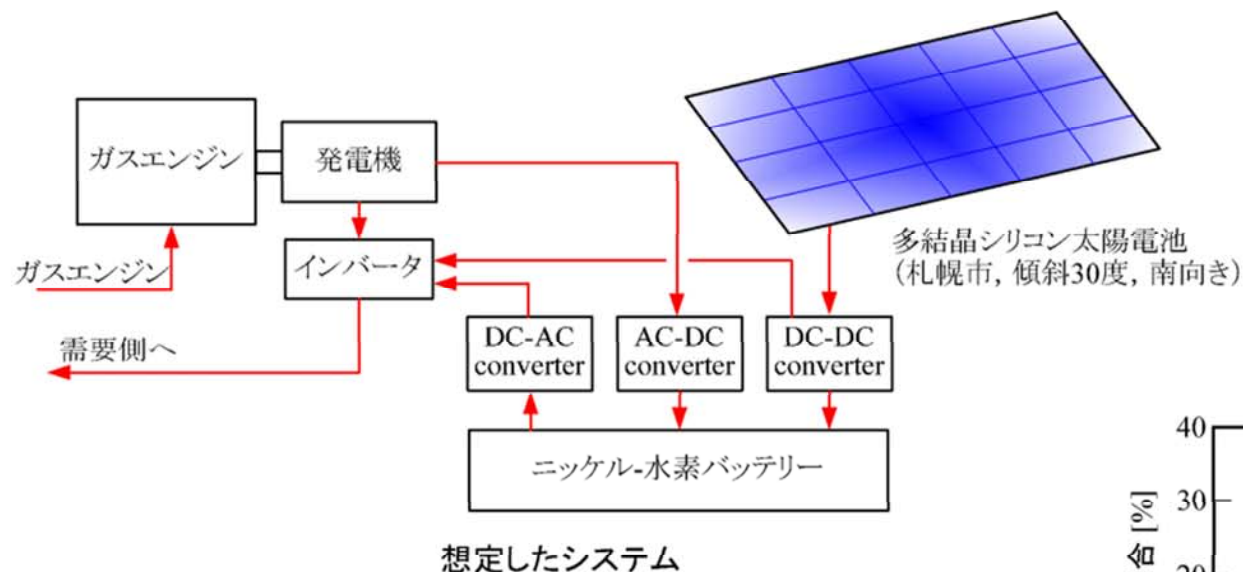
# PASによる自然エネルギーの出力予測 (札幌市の太陽電池出力の例)



## 1 1. 動的運用アルゴリズムを導入した場合の事例解析結果

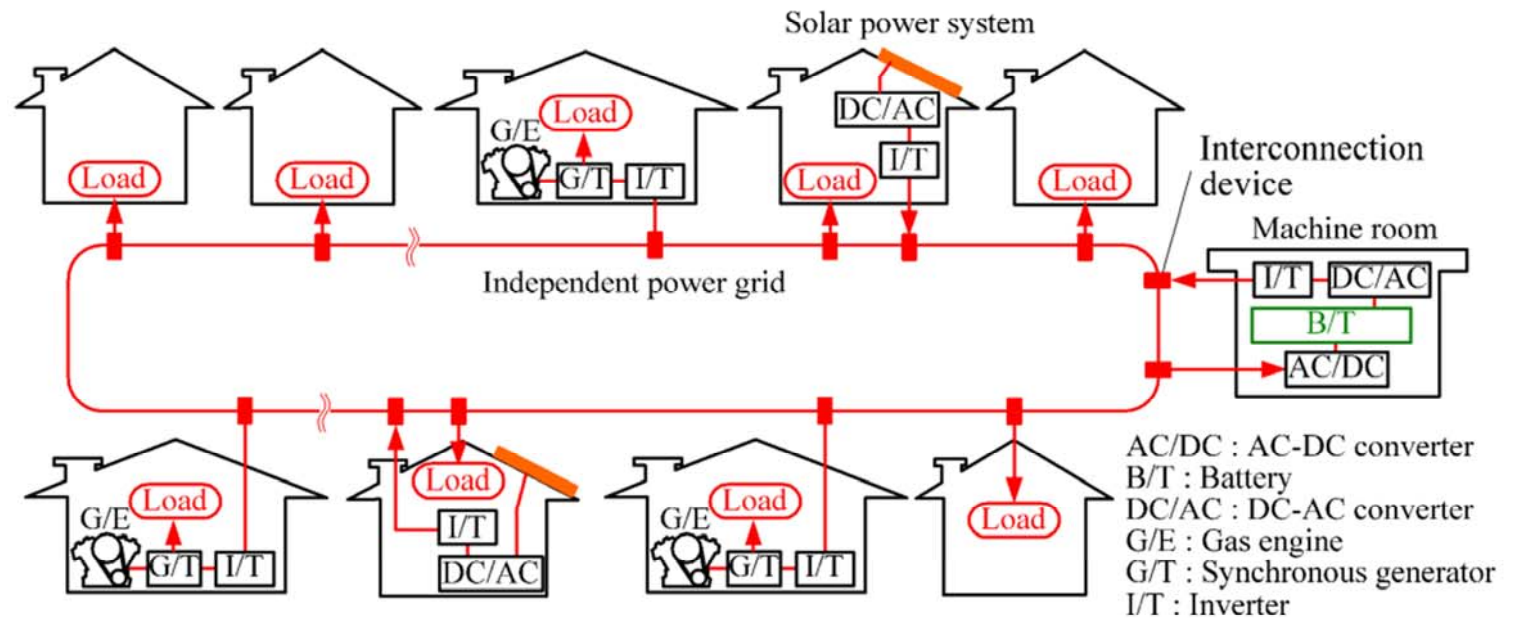
(太陽電池を伴うマイクログリッドの例)

# 本研究で提案する動的運用アルゴリズムを 導入した場合の事例解析結果 (太陽電池を伴うマイクログリッドの例)



過去の気象データをそのまま使った場合に対する、PAS導入の効果(発電装置の稼働時間の低減割合)

# マイクログリッドの例



(a) Independent grid system