

船舶を利用した防災スマートグリッド

刑部 真弘*

* 東京海洋大学大学院
* Graduate school, Tokyo University of Marine Science
& Technology
(東京都江東区越中島2-1-6)

1. はじめに

船舶を利用した防災スマートグリッドは、これまでのような電力をユーザー側に一方的に供給するシステムではなく、情報通信技術 (ICT) によりユーザー側と電力・情報のやりとりをする。2004年に我々が提案したシステム⁽¹⁾⁽²⁾は、三つの重要な機能を有している。一つは、地域生産された再生可能エネルギーを、容易に地域で使用できる環境を整える。再生可能エネルギーは最も期待されるエネルギーであるが、出力変動が大きく使用するのに工夫がいる。分散発電や蓄電・蓄熱の統合制御が重要である。二つ目は、市民力を生かせる道具を提供する。従来よりも進化したユーザー側の需要制御が省エネを更に促進する。これまでのように個人や一つの家だけだけでなく、400軒程度の顔の分かる規模のコミュニティ全体の電力見える化をし、これによる電力調整行動に注目している。三つ目は、緊急時や災害時に電力システムから独立して、船を含む分散電源から電力供給を行う。

2. 東日本大震災

図1に示したのは、2011年3月11日の東日本大震災における東北電力全体、岩手県および震災直後に現地調査を行った久慈市エリアの停電復旧率である。90%が回復するのに1週間程度を要したことがわかる。一方で、ガス供給は、3月23日に新潟と仙台間のガスパイプラインで緊急供給されたが、平均的には1月程度供給されなかった。電力供給は比較的迅速な復旧が可能であることが示されたが、更なる迅速性の追求が重要であることは言うまでもない。

久慈市エリアの被災地は数日以上長期停電となり、人命・財産の保全が著しく侵された。津波や地震による直接被害のほかに、停電による二次的被害により通信、暖房、交通、医療、調理、トイレなどの機能が喪失し、住民の不安を増長すると共に、早期復旧に遅れが生じた。このエリアの重要な産業である漁業を支える冷凍倉庫では、温度維持が不能になり在庫品の被害が生じた。当時、中にあった魚介類は1800トンあったが、そのほとんどを廃棄しなければならず被害額はおよそ2億円にのぼった。また養鶏場においても、生育不調による殺処分を余儀なくされた。電力会社等の事業者からの停電に対して、ある程度非常用発電

機によるバックアップが準備されていたが、燃料等の制約により長期間にわたり十分な電力供給ができる仕様となっていないために、例えば病院等でもCTスキャナ等の機器が使用できなかった。非常用発電機を持たない個人病院では電子カルテや処方箋の閲覧ができなかった。我々の生活に電気やガス等のエネルギーはなくてはならないものであることが、多くの方々に認識された。

停電の中、被災した人たちが忘れられないという光景がある。海を見ると沖の方に灯りがともっていた。津波を逃れて沖に出た船40隻以上が、暗闇の中明るい光を放っていたのである。

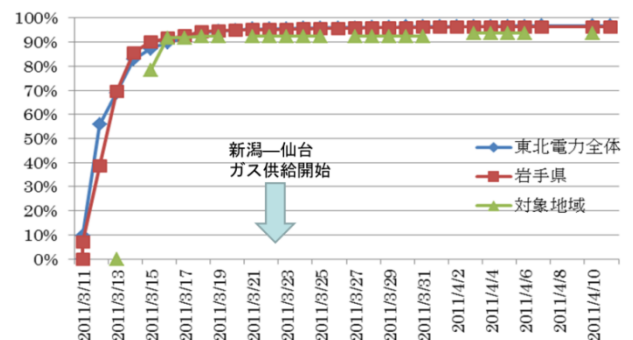


図1 停電復旧率

3. スマート構想

3.1 再生可能エネルギーのための環境

昼と夜間の電力需要は数倍もの差があり、また経済の変動によっても電力需要は大きく変化し、大規模集中電源をフルパワーで継続して運転することは非現実的な状況になっている。さらに、長期エネルギー需要見通しにおいて、風力や太陽光発電等の新エネルギーを積極的に導入することが挙げられている。これは、化石燃料を抑制する非常に重要な国の施策ではあるが、これらの発電出力は変動性の高いものとなっている。この状況下で、特に負荷(需要)変動が大きな事業所や家庭群においては、発電、蓄電・蓄熱または需要調整をすることにより外部電力への負荷を平準化することが要請される。この場合、多少効率の低い小型(家庭)分散電源を採用しても、それらを発電群として

きめ細かに運用可能なことや発電に伴って排出される熱等を利用できるメリットがある。企業にとってこれらの施設を保有することは、災害等による外部電源喪失時の事業継続プログラム (BCP, business continuity plan) においても重要である。

従来の電力網は、図 2 上のようにユーザーに一方向的に電力を供給するだけであった。この場合、電力会社は、各ユーザーが使う電力の総量に、いつでも同量になるように供給しなければならない。これを「同時同容量」と呼んでおり、これが達成されないと周波数変動し、最悪の場合は停電となる。特に、晴れたら発電するが、曇ったら発電出力が激減する太陽光発電のような自然エネルギーを大量に導入すると、「同時同容量」が確保されるか心配になる。

これに対し、スマートグリッドは、図 2 下に示したように ICT 技術で双方向に繋がり、各ユーザーと情報や電力のやりとりをし、ユーザーの電力使用を「見える化」したり抑制・促進したりする。従来の電力システムが「同時同容量」で一方向的に電力を供給する技術システムであったのに対し、スマートグリッドは電力や情報をやりとりし、柔軟な電力供給を行う社会システムだと言える。これまで電力を消費するだけだったユーザー側でも電力生産または供給ができるようになってきた。

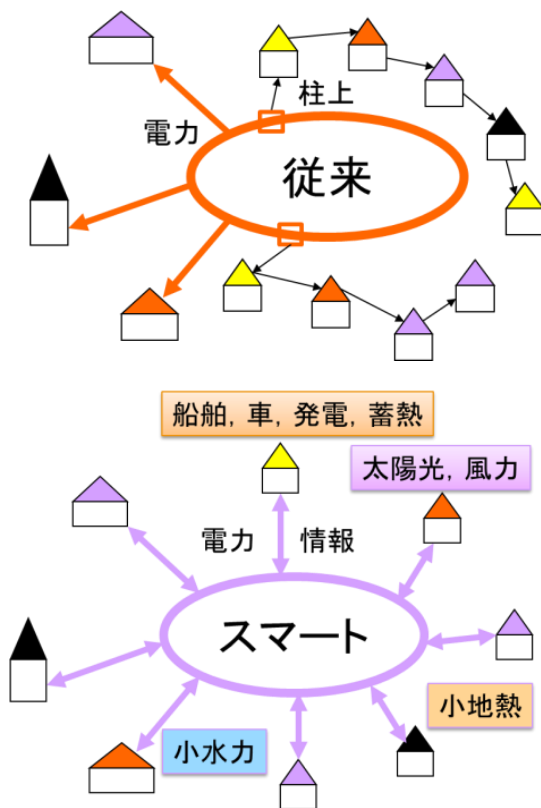


図 2 従来の電力網 (上) とスマートグリッド (下) の比較

ユーザー側の電力には、太陽光発電、電気自動車や家庭用発電装置等がある。エネファーム等の家庭用発電装置は、発電に伴う排熱を利用して風呂を沸かす。これによって高い総合熱効率を得る風呂発電である。地域で電力が足りない時に風呂発電を作動させ、お湯が十分に蓄えられたら停止させる。また、蓄熱という技術を使って電力使用をずらすことも重要である。地域で電力が比較的十分あるときに、例えばエコキュート等の高効率ヒートポンプを作動させ、お湯として蓄えておくのである。

かつての下町で、夕食時に醤油や塩が足りなくなったときは隣家から借りるのが普通だったが、このように地域社会で電力を融通し合うことが可能となってきている。

3.2 見える化システム

ユーザーの電力使用を「見える化」するための最も大事な道具がスマートメータである。2005年に東京海洋大学越中島キャンパス(図 3)で最初に導入したスマートメータは、電力線を挟むセンサとデータ収集部をケーブルで結んでいた。このため、既存電気施設等において、このケーブルの引き回しが困難な場合には設置ができなかった。これに対し、図 4 のように無線 LAN を用いてセンサとデータ収集部をワイヤレスにすることに成功した。さらに、収集した電力データを別のサーバに転送し、Linux で専用開発したソフトウェアで処理をして、ネット上に公開するソフトウェアを開発した。



図 3 海洋大学越中島キャンパス



図 4 無線スマートメータ

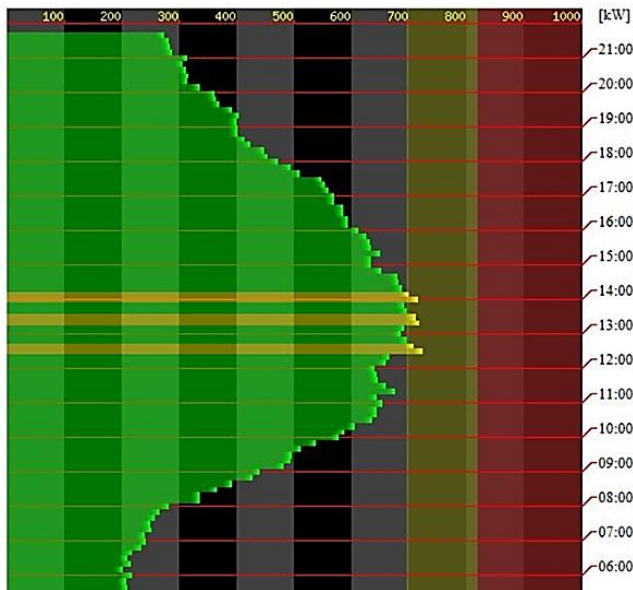


図5 電力需要表示（海洋大）

（縦軸は時間，横軸は電力需要 kW を表示する．緑の山形の需要がイエローゾーンを超えると黄色に変わる．）

2011年夏は，電気事業法第27条に基づく電力使用制限により500kW以上の大口需要家に対して前年比15%の削減が求められた．このため，東京海洋大学越中島キャンパスを対象に，教職員，学生が電力状況を把握する事により節電行動を行うか検討した．大学というコミュニティにおいて節電行動を促すことのできる「見える化」を実現するため，Web上での表示はシンプルな棒グラフとした．また，節電目標の最大値である694kW以上をイエローゾーン，キャンパスの契約電力量をレッドゾーンで示し，危機感を喚起することにした．教職員，学生に公開した電力需要の画面を図5に示す．イエローやレッドゾーンに突入すると棒グラフも緑から黄色または赤に変わり注意を喚起する．また，10分ごとの電力の消費状況を表示した．これが，例えば1分おきではグラフがスパイク状となってしまう傾向が分かりにくい表示となる．

結果として，大学の構成員が，PC等で現在の全体電力使用量をリアルタイムに知ることにより，大きな投資なしに15%の節電をクリアした．成功した一番大きな要因は，自分の節電行動に対する貢献がリアルタイムにわかることである．また，複数の構成員がキャンパス全体の電力を把握し，協力して具体的な節電行動を行うことにより連帯感が生じたことも重要である．これらのことから，大規模で高価なシステムの導入なしに善良な構成員の行動のみで節電が出来ることがわかった．これまでのスマートメータなしの節電では，事務室や会議室等の空調を強制的に止めていたが，「見える化」によって必要な場所では温度調整を行いながら空調等が使用可能となり，節電をする状況下であっても省エネと快適な環境を両立出来た．なお，図5で需要

がイエローになったのは，電気自動車（EV）の急速充電により省エネ行動が間に合わなかったことによる．



図6 八景島



図7 電力需要表示（八景島）

2011年夏，横浜八景島では夏休みの来場者ピークに備え，一部空調等を強制的に止める節電と共に，大型非常用発電機を導入して電力ピークカットをおこなった．2012年夏における省エネ実験は，図6に示した八景島内の商業施設および管理棟，水族館の全体電力使用量をリアルタイムで示すことにより構成員に節電行動を促すだけとした．これらに含まれる50店舗のレストラン等は，経営者が異なる営利目的施設であり，これらが省エネ行動をどのように展開するかが問題である．

公開した電力需要の画面を図7に示す．システムおよび画面構成は，海洋大学で実施した際とほぼ同様であるが，2分間隔で電力の状況を分かるようにした．そのため，より迅速な節電行動が期待できる．これらの取組により，最大電力量の約10%の削減を達成することが出来た．この結果，電気料金に含まれる基本料金を大きく下げることが可能と

なり、年間約 400 万円のコスト削減ができた。商業施設で省エネ行動を実施する場合、来場者の快適性や安全性確保との両立が必要となるが、この両立を「見える化」で実現することができた。

横浜市は、市内 2 カ所の集合住宅で電気自動車 (EV) のシェアリングを行うとともに、非常時・災害時等に停電した際、EV を非常用電源として活用できるシステムを導入している。そのうちの 1 つであるシーブリーズ金沢は、横浜市住宅供給公社の賃貸型マンションで、停電時 EV に搭載されている蓄電池から電源を供給し、受水槽の水を集会室のトイレ用水として利用できる設備と、EV 用充電器やマンション各棟の電力等がリアルタイムで確認できる見える化システムを導入した。

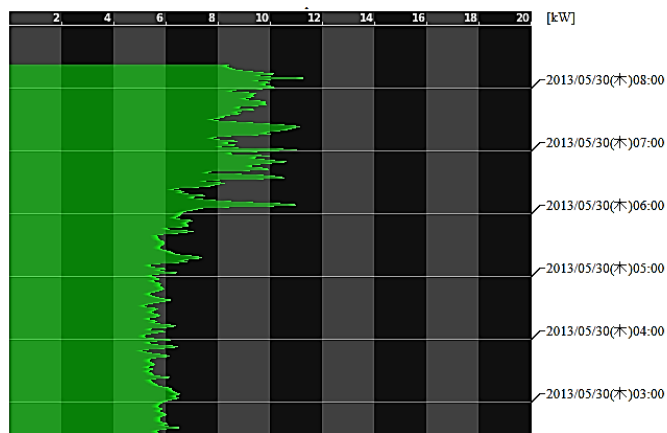


図 8 電力需要表示 (20 世帯小規模マンション)

図 8 は、シーブリーズ金沢の 1 つの棟全体の電力需要表示である。この場合には 1 分間隔で電力の状況をつかむようにした。朝 6 時ぐらいから電力需要のピークが見られるようになり、マンション住民が活動を始めたことがわかる。20 世帯程度の電力であるため、電力需要はスパイク状になっている。比較的大きな電力を使う温水便座等の使用がこのスパイクの原因であると考えられる。ただし、全体の電力需要傾向は分かるので、これによる省エネ行動も可能と思われる。

図 9 は、横須賀市の 309 世帯大規模マンションの全電力需要について平日と休日を比較したものである。この場合も、1 分間隔で電力の状況をつかむようにした。300 世帯程度になると、各家庭の電力需要が打ち消しあい、20 世帯で見られたようなスパイク状の電力需要がみられない。平日の電力需要は、朝 5 時ぐらいから立ち上がり 6 時半ぐらいにピークになる。一方、休日の電力需要は、やはり朝 5 時ぐらいから立ち上がるが、8 時ぐらいに緩やかなピークとなる。平日の正午電力需要は、休日よりも 50kW 程度低く仕事等で住民人口が減っていることを示している。休日と平日では、各家庭の生活パターンが異なり、それに伴った電力需要も大きく異なることがわかる。

注目されることが多い東北の被災地だけではなく、我が国全体で過疎高齢化が急速に進んでおり一人暮らしの高齢者の見守りは大きな課題となっている。一人暮らしの高齢者の各家庭の電力を「見える化」すると、前述した比較的大きな電力を使う温水便座等の使用状況を検出できる可能性がある。電力使用計測による一人暮らしの高齢者の安否確認である。図 10 は、ある建物での電力需要を処理したものであるが、その中で使用される特定のヒーターの作動を検出できることが明らかとなった。さらに、スマートメータ設置に伴って整備したネット環境を利用して、公共バスを予約するシステムや地域回覧板等の機能を付加することも可能である。

我々の社会は、いろいろな業種や多様な人で構成されている。人工呼吸器等の電気が必要な人もいるし、一律には節電できない業種もある。スマートグリッドであれば、適切なある地域内を「見える化」し節電を行なう方法を提供できる。良識ある方々が、「うちは我慢するから、困っている人たちに電気をあげて！」と行動すると期待をしている。まさに、人のための我慢は喜びであるという下町文化の復活である。

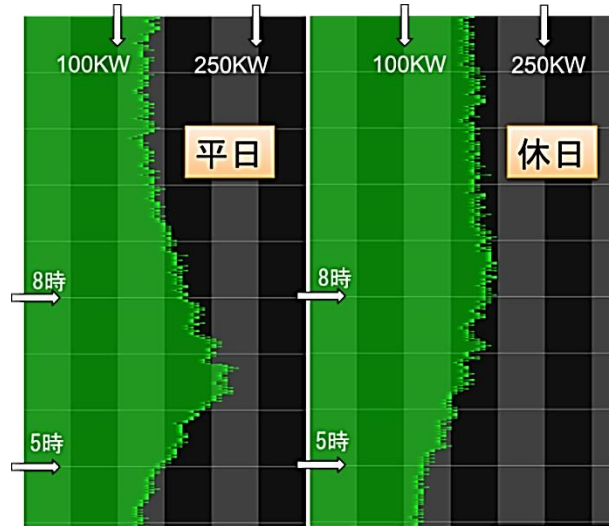


図 9 電力需要表示 (309 世帯大規模マンション)

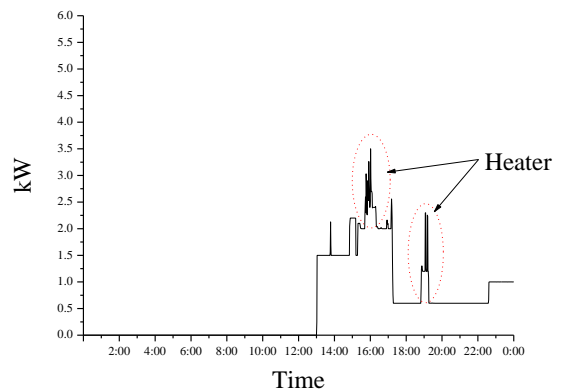


図 10 Heater 作動の検出

3.3 緊急時船舶電源の活用

停泊時船舶のコスト削減策として、陸上からの電力供給（陸電）に注目している。図 11 は石炭運搬船の電力供給線および装置である。これは、停泊時にエンジン発電を行わないことになり排ガスを放出せず、岸壁周辺の環境上も望ましいことになる。陸電を行えば、横浜港全体で年間 20 万トンの CO₂ 削減が可能である。

このシステムを採用すれば、震災時等における電源喪失時には、逆に陸上に電力供給を行う発電所となることも可能である。特に病院、公共施設や原子力発電所の非常用発電装置は、震災時等に最後の砦となる重要機器であるが、これが不動作の場合に船の電力が役に立つ。図 12 は、3.11 の震災時において、津波が来る直前に福島第一原発港内を退避するタンカーを捕えた写真である。沖合に出て津波を避けた、このタンカーの電力が使われていたら、原発の重大事故⁽³⁾は防げた可能性がある。震災時に津波を避けた船が、続々と港に帰り陸上に電力を供給することを検討する必要がある。なお、3.11 の震災においても、クルーが乗船している商船の被災はなかった。

図 13 は、船舶の発電機出力である 3 相 3 線出力を、一般の家庭等で使われる単相 3 線に変換する可搬型スコットトランス「せんぱつクン」である。一般的な船舶電源は 60Hz であるが、50Hz 地域においても周波数変換なしで供給する。50Hz 地域の家庭や病院等においても、ほとんどの機器は対応していることを確認している。ただし、現状では 20kW（単相 3 線）供給を行う「せんぱつクン」で、重量が 200kg 程度もあり、今後の軽量化検討が必要である。

図 14 に示した 2014 年春に開院した新豊洲病院では、船舶からの電力供給を目的として固定型の変換機を設置した。病院や薬局等では、電子カルテや処方箋が増えており、電源喪失は住民の生命をも脅かす事態になる恐れもあり、非常時の電源として船舶は重要である。現在、他の病院等からも設置要望があり、非常時の船舶派遣に関する協定等の整備を検討している。

船舶からの陸上への電力供給として、専用線や既存電線を用いた方法以外に、最近普及しつつある電気自動車(EV)を図 15 のように用いる方法もある。船舶電源で充電した EV を用いて病院等に電力を供給する。港湾に急速充電器を設けておけば、40 分程度で急速充電することも可能である。災害時には電力会社の広域送電網管理が機能していない場合も想定され、比較的状況を把握しやすいローカルな電力供給が重要である。

図 16 は、住民の安心安全に大きく貢献する重要なインフラとしての港湾の概念図である。通常時は、係留中の船舶へ陸上からの電力供給をすることにより二酸化炭素排出を低減する。また、港湾における荷役機械の電化を進めることも重要である。港湾における環境保全の観点からも望ましく、特に欧州等の環境問題に敏感な荷主から支持される

と考えられる。さらに、船舶電源は、震災等で陸上電源が喪失した場合に重要な電源となる。



図 11 陸上からの電力供給



図 12 福島第一原発を退避する船



図 13 可搬型電力変換器



図 14 豊洲新病院

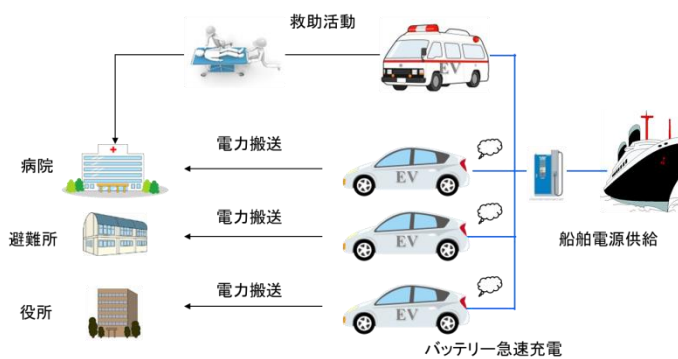


図 15 EV と船舶電源

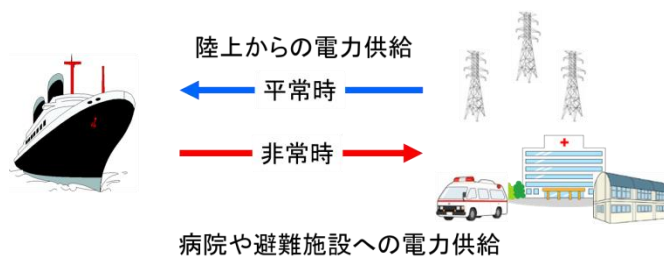


図 16 これからの港湾における電力供給

4. むすび

船舶および港湾を活用した、以下の 3 つの特徴を持った防災スマートグリッドを提案しておきたい。

- (1) 出力変動の激しい太陽光や風力等の再生可能エネルギーの受容を容易にする。これには事業所や家庭での分散発電（エネファーム等の風呂発電）、電気自動車等の蓄電および下水熱や海水熱を利用した高効率ヒートポンプによる蓄熱等を広域制御する。
- (2) 「見える化」により、個人個人の省エネ行動から、地域全体としての省エネへ進化させる。住民による自発的な電力調整により、再生可能エネルギーの導入がさらに容易になる。エネルギーを、かつての下町にあった醤油や塩の貸し借りのように融通しあい、緩やかな連帯感のあるコミュニティを創りだす。
- (3) 災害時等に再生可能エネルギー、船舶電源や蓄電池等を利用して速やかに電力を供給する。非常用発電機不作動は想定内と考えるべきである。

さらに、電力使用計測による一人暮らしの高齢者の安否確認、公共バスを予約するシステム、地域回覧板等の情報

通信機能を、防災スマートグリッドに付加することも可能である。

防災スマートグリッド設置を進めるためには、以下のような具体的な施策が有効であると考えられる。

- ✓ 太陽光や風力発電を売電する家庭には、エコキュートやエネファームの設置を義務付け、それらを広域制御する。再生可能エネルギーが豊富な時にはエコキュート、乏しい時にはエネファームを作動させる。そうすれば、ドイツのような再生可能エネルギー買取り制度破綻は避けられる可能性がある。
- ✓ コミュニティ内の善良な市民による電力消費の制御はスマートな社会を実現するための第一歩となる。「見える化」したコミュニティは、バーチャル共同受電であり、電力削減可能であるので計画停電対象外とする。さらに、ピークカット等により電力会社にとってメリットも生じることから、導入コミュニティに安い電気料金を提供する。
- ✓ マンション等の非常用発電機ラインに、船舶電源を直接投入することを検討する。緊急時に船舶電源を活用するためには、遊漁船組合やタグボート会社等との協定を行う。また、船舶停泊場所への送電線を準備し、電力容量等を明示することも必要である。さらに、送電線の代わりに電気自動車および急速充電器を用いる事も検討しておく。

(2014 年 1 月 24 日受付)

参 考 文 献

- (1) SMART 研究会編、地域分散エネルギー技術、海文堂、(2004)
- (2) 刑部真弘、エネルギーのはなし、朝倉書店、朝倉書店、(2011)
- (3) NHK 取材班、メルトダウン 連鎖の真相、講談社、(2013)

[著 者 紹 介]

刑部 真 弘 君



1980 年東京大学大学院工学系研究科修了，工学博士，日本機械学会フェロー。2002 年スマート研究会を発足，震災後の東北のスマート化を進めている。文化庁芸術祭大賞等を受賞した NHK「メルトダウン」シリーズで原発事故分析にも協力している。