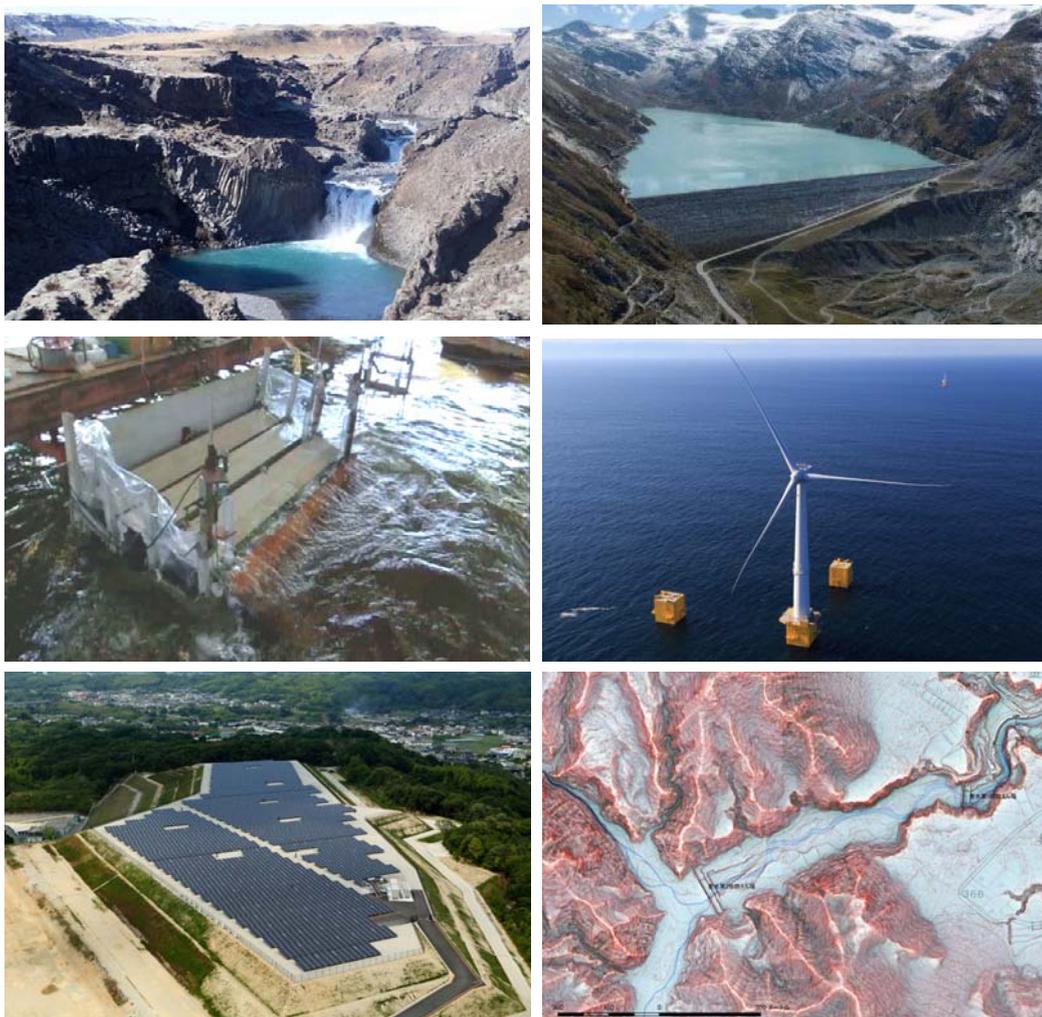


第 24 回地球環境シンポジウム
再生可能エネルギーに関する一般公開シンポジウム

新しいエネルギーシステムの 構築に向けた土木の貢献（その 3）



2016 年 12 月

第 24 回地球環境シンポジウム実行委員会
土木学会地球環境委員会政策研究小委員会

第 24 回 地球環境シンポジウム・再生可能エネルギーに関する一般公開シンポジウム 新しいエネルギーシステムの構築に向けた土木の貢献（その 3）

■概 要

日 時：2016 年 8 月 31 日 13：30～17：00

場 所：首都大学東京 南大沢キャンパス 国際交流会館

主 旨：

土木学会地球環境委員会では、地球温暖化問題等の地球環境問題に対して国内外における政策的取組みの重要性が高まっていることを踏まえ、土木関連分野における政策研究の方向性を明確化し、さらに土木業界の貢献の方途について考究することを目的として、2010 年度より政策研究小委員会を立ち上げて、ワークショップやセミナーなどを開催してきました。

5 年前に発生した東日本大震災やそれに伴う福島第一原子力発電所の事故を契機に、再生可能エネルギーの普及拡大やスマートコミュニティの実証などエネルギー供給および利用側における様々な新しい取り組みが急ピッチで進んでいます。そこで、このような再生可能エネルギーに関する新しい取り組みに土木がどのように関わっているのか、あるいは土木にどのようなことが求められているのかを考えていく機会として、2014 年度より特別セッションを開催しています。昨年度は、北海道のエネルギー事情や再生可能エネルギーの取り組みとその展望を中心に話題提供を行いました。

今年度は、まず招待講演として、氷河を抱えるアイスランドでの水力発電と生態系への影響について David C. Finger 博士に紹介を頂きました。そして、わが国の新たな海洋のエネルギー利用の開発動向について、波力発電、洋上風力発電などの話題提供を頂きました。さらに、環境省の処分場での太陽光発電事業への取組み、再生可能エネルギー分野における空間情報技術の活用技術について報告を頂きました。

土木学会地球環境委員会政策研究小委員会

■プログラム

講演(1) Hydropower and its ecological impacts - case studies from Iceland and Switzerland
Dr. David C. Finger (Reykjavik University)

講演(2) 新たな海洋エネルギーの利用
東海大学海洋学部教授 田中博通氏

講演(3) 洋上風力発電の取り組み
清水建設株式会社 白枝哲次氏

講演(4) 廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入促進事業のご紹介
環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 廃棄物対策課 主査 田中吉隆氏

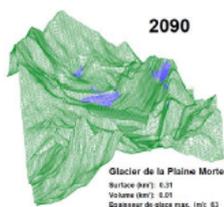
講演(5) 再生可能エネルギー分野における空間情報技術の活用事例
アジア航測株式会社 北原一平氏

◆講演(1) : Hydropower and its ecological impacts - case studies from Iceland and Switzerland
 Dr. David C. Finger (Reykjavik University)

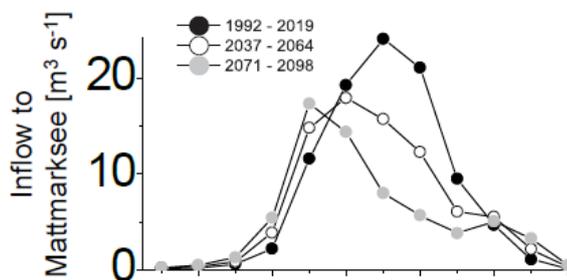
1950年代から日本の水力発電の比率は減少し始め、1950年代に90%を超えていた水力発電は、2013年には8%にまで低下し、非再生可能エネルギーである石油やLNG、石炭、原子力に依存している状況にある。しかし、日本では富士山の海拔3,776mが示す地形的な特徴と、東京の年間降雨量が1,500mm以上というように降水量が多いため、水力発電において高いポテンシャルを有している。本講演では、アイスランドやスイスなどの水力発電の利用が多い地域での事例を通して、演者がこれまで取り組んできた水力発電のポテンシャル評価や生態系へのインパクトの分析事例を紹介する。

アイスランドは、国土面積は10万km²、人口は約32万人の小国ではあるが、国民一人あたりの水力発電量において世界をリードしており、水力発電の長い歴史を有している。電力の構成は、水力発電が70%、地熱発電が30%となっている。ここでは、まず雪氷で覆われた衛星画像から未観測山岳地域の水力発電ポテンシャルを評価した事例を紹介する。Leirdalshraun 地区と Heljardalsfjöll 地区において、水力発電のポテンシャルを推計した結果、Leirdalshraun 地区は面積が274km²で、年間発電量は7.92億kWhとなった。Heljardalsfjöll 地区の面積は946km²で、年間発電量は4.80億kWhとなった。また、発電量は夏季に集中していた。

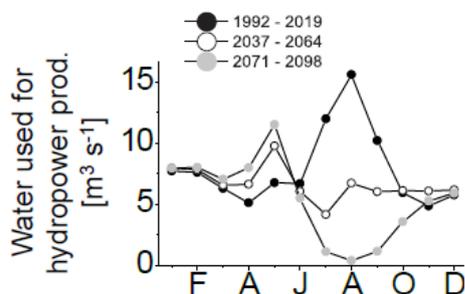
スイスで、水力発電が55%、原子力発電が40%とやはり水力発電が重要なエネルギー源となっている国である。ここでは、例えばアイスランドのVirkisjökull氷河やJökulsárlón氷河、スイスのGorner氷河など、高山地域において氷河の減少により水力発電への影響が出ていることから、気候変動の研究を組み合わせる将来のポテンシャルの評価を行った。スイス南部のIspra Valleyにおいて2098年までの気候変動が氷河容積に与える影響の研究で、2100年までにどれだけ氷河容積が減るかの予測は、シナリオ1で50%減少、シナリオ2で90%減少、シナリオ3ではすべて溶けてしまうこととなった。また2011年8月22日にスイスのPlaine Morte氷河でトレーサ実験を行った。その結果、氷河の後退により、夏と冬で流路が変化することがわかった。このようなスイスでの長期間の気候変動予測は、水力発電のインフラを環境条件に対応して変化させていくべきことを示している。



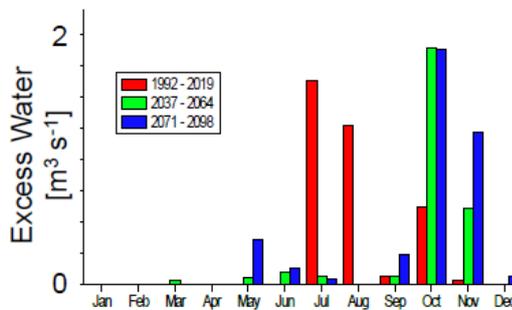
Glacier volume will decrease



Inflow will alter significantly



Hydropower production will have to adapt to CC



Infrastructure needs to be adapted to new hydrology

気候変動による水力発電の諸条件の80年間の変化

また、水力発電の構造物が与える生態学的影響を考慮し、数値計算モデルによりそのような影響を検討した事例を紹介する。水力発電は運用時点ではほとんど何も排出しないクリーンな再生可能なエネルギー源である一方、大規模な貯水池の建設は下流側の淡水生態系と水没地域に重大な生態学的な影響を与えうる。これらの研究では、河川の土砂輸送が阻害され、下流の川や湖の水質が変化し、生態系や漁業に影響を与えることが示された。

以上より、数値計算等の技術は水力発電のポテンシャルを議論するうえで有効であり、そのポテンシャルは十分に大きいものであることが示されていること、気候変動の影響による氷河の減少など水力発電に影響を与える因子の分析が可能であり、また水力発電もそれに対応していくべきことが示唆されていること、水力発電の負の影響についても数値計算から推測が可能であり、そのような影響も検討していく必要があることが示唆された。

■質疑応答

Q ダム建設をめぐる軋轢はあるか？

A 他の国と同様の状況であるが、発電によるメリットと生態系に与えるデメリットに関して、正しい予測値を提供することが科学者の役割であると考えている。

Q 日本ではダムがない小規模の流込式の水力発電が注目されているがアイスランドでは実施されているか？

A 小規模なものはグリッドへの接続コストがかかることからあまり検討されていないのではないかと。

【参考文献】

Finger D., Heinrich G., Gobiet and A. Bauder (2012). Projections of future water resources and their uncertainty in a glacierized catchment in the Swiss Alps and the subsequent effects on hydropower production during the 21st century, *Water Resour. Res.*, 48, W02521, doi:10.1029/2011WR010733.

Finger D., Hugentobler A., Huss M., Voinesco A., Wernli H.R., Fischer D., Weber E., Jeannin P-Y., Kauzlaric M., Wirz A., Vennemann T., Hüsler F., Schädler B., and R. Weingartner (2013). Identification of glacial melt water runoff in a karstic environment and its implication for present and future water availability. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 3261-3277, doi: 10.5194/hess-17-3261-2013.

【問合せ先】

David C Finger, Dr. sc. nat.
Asst. Prof. at Reykjavik University
Uni. Web : <http://en.ru.is/>
Pers. Web : <http://fingerd.jimdo.com/>
E-mail : davidf@ru.is

1) 地球温暖化と再生可能エネルギーの状況

1800年までは10,000年もの間、大気中のCO₂濃度は270~280ppm程度であったが、産業革命から石炭を使用し始め、石油・天然ガスの使用の影響もあり、現在大気中のCO₂濃度は400ppmを超えている。地球温暖化を地球の活動に起因するものとする説もあるが、地球の活動は何千~億年のスパンで起こるもので、100~200年程度で影響してくるものではない。地球温暖化が人為的なものであることは間違いない。

ハワイのコナ島のマウナロア観測所は、標高約3,400mの場所にキーリング曲線で著名なキーリング教授(カリフォルニア大学)が設置したもので、現在は、弟子のDr.ジョーンズ氏が駐在している。キーリング曲線は上昇するCO₂濃度の観測データを連ねたカーブであり、現在は偉大な功績となっているが、当時は理解されなかった。1950年台後半当時、大気中の空気の成分を測定することへの予算はゼロだった。現在の観測所はアメリカ海洋大気庁気候監視・診断研究所の管轄になり、年間で30億円程度の予算がついているようである。2015年6月25日の測定によるとCO₂濃度は400.7ppmであった。

2004年にNatureに掲載されたLeeds大学国際研究チームの論文にあるように、現状のまま化石燃料を消費し続けると2050年には大気中のCO₂濃度は500~550ppmになり、陸上動物の15~37%が絶滅することになる。

2012年の世界の二酸化炭素排出量のうち、日本は3.7%を占めている。再生可能エネルギーの導入状況について、日本は水力発電を除くと、2013年時点で再生可能エネルギーの割合は2.2%であり、ドイツやデンマーク、スペイン等と比較するとかなり値は小さい。

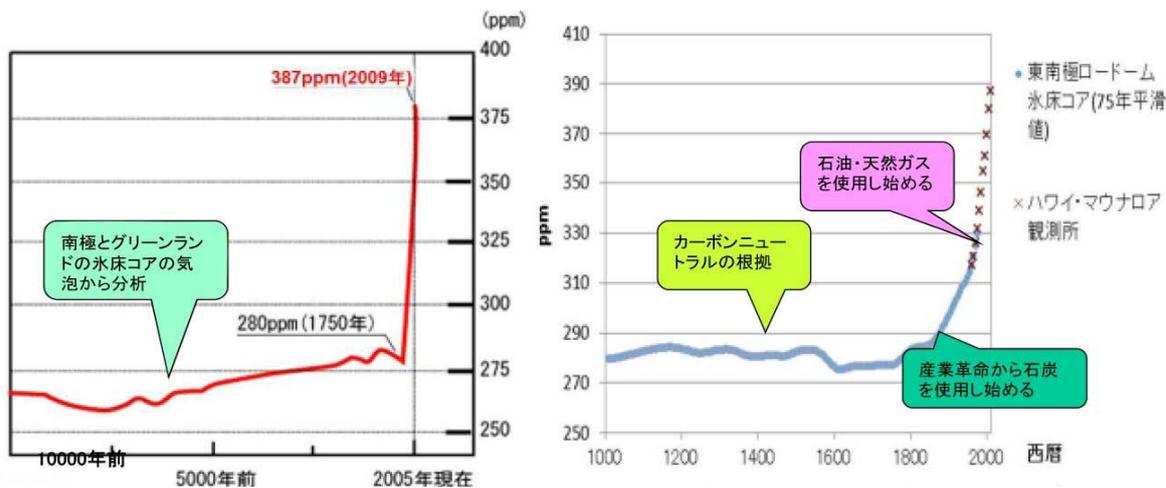
ハワイ大学と東海大学海洋学部で協定を結んで、再生可能エネルギーの研究を進めることになり、昨年8月末に協定が締結した。今年の5月5日、ハワイ州の議会において2045年までに100%再生可能エネルギーにすることを決定された。ハワイの電気料金は高く、アメリカ本土の3倍であり、日本の2倍にもなることも作用しているようだ。

ローマ法王は6月18日に回勅を発表して、地球温暖化や環境問題に警鐘を鳴らし、「大胆な文化的革命」の必要性を訴えている。

2) 海洋エネルギーの現状

風力、太陽光、地熱、バイオマスは新エネルギーの利用等の促進に関する特別措置法(新エネルギー法)の中に組み込まれているが、海洋エネルギーは商業電源となっていないので新エネルギー法の中に組み込まれていない。

2007年に海洋基本法が制定され、翌年に基本計画が策定された。この中ではメタンハイドレード以外は明確に掲載されていない。当時、イギリス政府は、2020年までに海洋エネルギー(潮流発電、波力発電)へ7,000億円投入すると決めている。スコットランド政府は、良い技術を開発するために、サルタイヤ賞というノーベル賞の賞金の約10倍の13億円の賞金をかけて、潮流発電、波力発電の社会公募をかけており、現在も継続している。



出典：IPCC第4次報告書(2007)とオークリッジ国立研究所のデータ
過去10000年、1000年の大気中のCO₂濃度変化

そのような状況の中、当時の日本は海洋エネルギーに関して、洋上風力に少し予算がついている程度であった。海洋基本法が制定されたにも関わらず、海洋エネルギーに予算がついていないのはおかしく、全ての特許を外国に取られてしまうという懸念を訴えた。その結果、動き出したのが今の日本の海洋エネルギーの流れである。

様々な国で海洋エネルギー発電が行われているが、商用化しているのは潮汐発電のみで、数件程度である。世界の潮汐発電所として、1967年に完成したフランスのランス潮汐発電所や2011年に完成した韓国の始華湖潮汐発電所等がある。また、韓国の仁川湾では、2017年にダム長さ20kmの潮汐発電所が完成する予定となっている。潮汐発電は、潮位差が大きいほど有利であるが、日本で最も潮位差があるのは有明海にある大浦港で平均5m、最大6mであり、大きな潮位差ではなく日本は潮汐発電には向いていない。

海流・潮流発電では、潮流の激しいところでプロペラを回して、ブイのライトの電源にしているものがある。風力発電を海底に設置するような形式のものも数年前から販売している。海水は空気よりも密度が800倍程度大きく、海水の流速は風速の約1/9の大きさと同じパワーとなる。

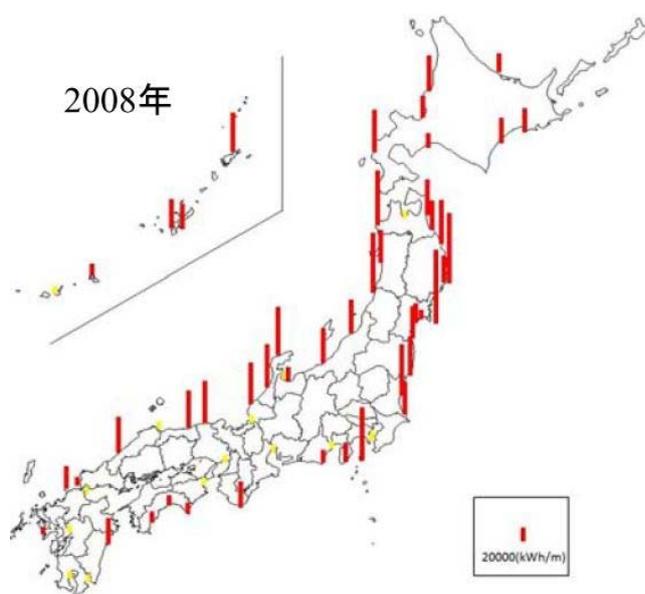
海洋温度差発電について、佐賀大学の上原氏が上原サイクルを発明した。アンモニアを表層の暖かい水で気化してタービンを回し、その後深層水の冷たい水で液体に戻すというように温度差を利用した発電システムである。日本では現在久米島で実施している。水深500~600m程度であれば年中通じて一定の温度(5~7℃)程度となっている。日本海は固有水があるため水深600m程度で2℃程度となっている。

塩分濃度差発電は、河川からの淡水と海からの海水をそれぞれの水槽を、塩分を通さず水だけ通す半透膜で仕切ることにより、淡水は半透膜を通して塩分濃度の高い塩水側に流入するので、この時に生じる浸透圧でタービンを回して発電するものである。技術が確立するとかなりの電力を発電することが可能である。ノルウェーに発電所が設置されている。

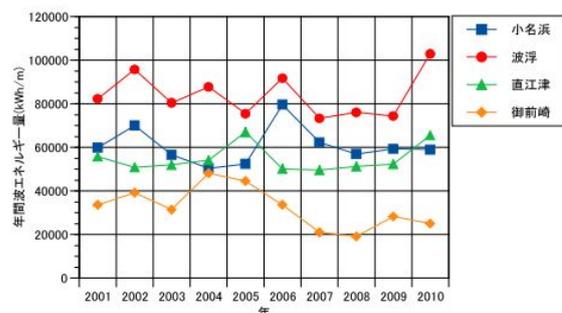
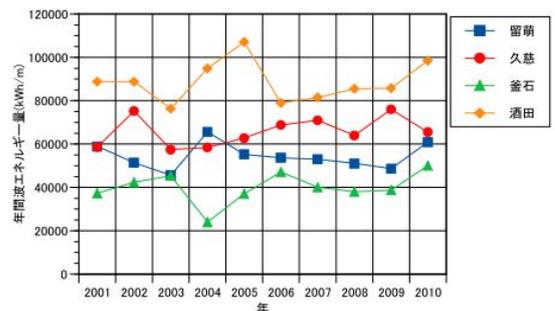
洋上風力発電に関して、イギリス南東部沖合に175基(1基当たり出力3,600kW)の世界最大のウィンドファームが2013年7月に完成している。総出力は63万kWで原子力発電一基分相当となっている。

3) 波エネルギーと波力発電

波エネルギーの分布に関して、NOWPHAS(全国港湾海洋波浪情報)の各観測地点における年間の波エネルギーの算出を行った。日本においては、年間の波エネルギーが10MWh/mを超えている地点が東北地方や日本海側に多い。10年程度各地の年間波パワーを求めたが、地域によってほぼ一定となっている。現在開発しているもので、発電効率15%、稼働率95%は達成できる。その条件の場合、酒田観測所であれば太陽光発電(100kW/m²/年)の130倍の電力が得られ、御前崎観測所でも46倍の電力が得られる。



日本沿岸の年間波エネルギー



各観測地点の年間波エネルギー量

波力発電方式としては、空気室内の水位の上下変動によって空気が加圧／減圧してタービンを回す振動水柱型が多かった。室蘭工業大学では、振り子式波力変換型を行っていた。三井造船や東京大学取組んでいるのは、浮体が上下することで動く方式である。

日本の波力発電は世界的に見ても古くから行っている。最も古くは海明で、振動水柱型の発電方式を 1977 年から実験している。室蘭工業大学の振り子装置は 1979 年から行っている。海外では、2000 年以降に実施しているものが多く、様々な発電方式を行っている。

4) 越波式波力発電の研究開発

現在取組んでいるのは越波型である。水は空気よりも約 800 倍質量が大きく、水のまま使用した方が効率がよいということで開発を始めた。この越波式波力発電について、2009 年の NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の基礎的な研究に採択され、2012 年から 2015 年に同じく NEDO の実証試験に採択された。越波式波力発電は構造がシンプルなのが特徴である。漁港では、冷蔵庫や事務所等があるので、電力が必要となっており、日本には漁港が 3,000 程度あるので、発電のニーズはあると考えられる。

越波式波力発電のタイプとして、重力式と杭式があり、杭式の場合はコストが高い。現在、わが国では防波堤の前面に消波ブロックが多く設置されているが、その代替としてこの重力式のタイプを設置すれば粘り強い防波堤の一助になりうる。

波の打ち上げ高について、不規則波の場合は、傾斜 15° の時が最も高く打ちあがり、規則波の場合は、傾斜 20 度の際に最も高く打ちあがることがわかった。また、越波量と波エネルギーのデータを計測する中で、越波量は波エネルギーに対して直線的に増加することがわかった。さらに、多段水槽の開口幅と流入に関する実験を行い、開口幅は 10cm（原型では 1m）以上あればよいことがわかった。

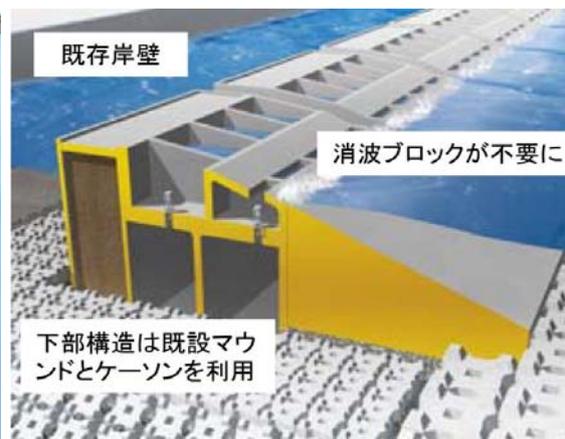
建設コストを 1,000 万円／m とした場合、酒田観測所の波であれば発電コストは 37.5 円／kWh となる。水深に応じて建設コストは変わる。NEDO のプロジェクトの場合 1/3 の自己負担が必要であり、20m の越波式波力発電の建設には総額 9 億円掛かるので、1/3 の 3 億円を自己負担しなければならない。協力企業の都合もあり、現在は費用を捻出できず事業はストップしているが、いつかは実現したい。

夜の余剰電力は、蓄電もしくは水素製造すればよいと考えており、製造した水素は、高压タンクに貯蔵して輸送し、消費地に供給することを考えている。

実証試験で港を使用する場合、港湾法が絡んできて、越波式波力発電を設置しても最終的に撤去しなくてはならない。港湾法の見直しが必要と考えられる。



越波式波力発電装置の鳥瞰図



越波式波力発電装置の概要

■ 質疑応答

- Q ハワイ州では、2045 年までに再生可能エネルギーの割合を 100% とするということがだが、その場合、本当に電気代は安くなるのか？
- A 現在ハワイ州では火力発電で電力を賄っており、単価は高く、再生可能エネルギーにすることで電気料金は下がると聞いている。
- Q ハワイ州において、仮に電気料金が高くなっても再生可能エネルギーを導入していこうという気概はあるのか？
- A 重要な点かと思うが、それはわからない。

1) 洋上風力発電の構造形式

洋上風力発電の構造形式は着床式と浮体式に大別される。着床式は海底に基礎を設置して風車を建造するもので、浮体式は浮いているタイプである。おおよそ水深 50m を境にこの 2 つのタイプに分かれると言われている。

着床式の中にも水深や海底地盤の土質に応じていくつかの種類がある。最も単純なものはモノパイルで、水深が大きくなると、ジャケットやその発展系のトリポッドやトリパイル等が使用される。

浮体式にも幾つか種類がある。スパー型は構造が単純で低コストである。しかし、構造物が 100m 程度の長さになり、大水深での組立場所が必要となってくる。セミサブ型は垂線面の構造物の面積を少なくして波の抵抗を減らすことで浮体の波浪安定性が高くなる。TLP 型はセミサブ型よりも浮力を大きくして係留柵を下に引き込んでおり、横方向の動きを減らす効果がある。占有海域が小さくて済むというメリットもある。

2) 洋上風力発電の現状

世界では、欧州（英・独）や中国において洋上風力発電の導入が急増している。台湾でも導入が始まる雰囲気がある。2015 年末時点の世界の風力発電の導入実績は 4 億 3,288 万 kW であり、前年比 17% 以上の成長率となっている。2015 年末の世界の洋上風力発電導入実績は 1,211 万 kW であり、成長率でみると 38% となっている。2015 年末の日本の風力発電の導入実績は 304 万 kW であり、世界的にみると 0.7% にしか過ぎないが、洋上風力発電では世界で始めて浮体式洋上風力発電を導入するといった先進的な部分もある。

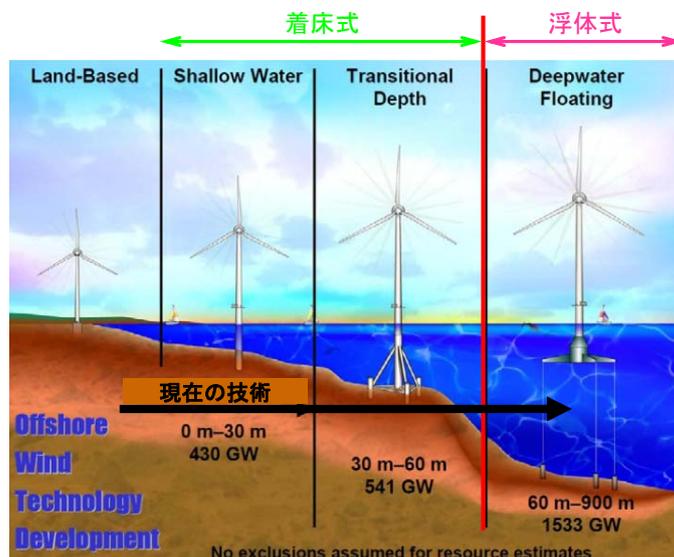
日本の洋上風力発電のポテンシャルは、季節により変動するが欧州と同等程度に大きい。

欧州の着床式洋上風力は、風車が現在 3MW 程度のものが多いが、今後は 6MW や 8MW が導入されようとしている。広大な浅海域（平均水深 25m）に大規模のウィンドファームが展開しており、低コストのモノパイル式が現在も導入の主流となっている。ジャケット式は実証を終えた段階で普及までは至っていない。

三菱重工が Vestas 社と合弁会社をつくり、8MW の風車を 32 基導入する計画が現在進んでいる。2017 年に運転開始予定である。

日本でも北は北海道から南は九州まで、洋上風力発電の計画は作成されている。既設の着床式洋上風力発電所は沿岸立地であり、沖合立地のものはまだ計画段階で実施に至っていない。

浮体式洋上風力発電について、海外では実証段階のものが 3 つ程度あるが、ウィンドファームとして複数基を設置し変電所も併設して発電所として展開しているのは日本だけであり、事業化された浮体式洋上風力発電設備としては、五島市が実施している崎山沖 2MW 浮体式洋上風力発電所が世界初である。



出典：Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine (2007, NREL)

洋上風力発電の構造形式

日本において、陸上風力では3MWのものが主流であるが、着床式では、事業性も考慮して5MW級機種による大規模な計画が立てられている。日本では5MW級機種は日立製作所の製品しかない。海外製のものが検討を進めているものもある。しかし、国内の専用作業船（SEP船）がないので計画が進んでいない現状である。

沖合立地の着床式洋上風力発電所は実証段階のものが銚子沖と北九州市沖に計2基ある。ケーソンの上に風車を建てるのが銚子沖で、北九州市沖の場合は、ジャケットを設置してその上に風車を設置しているが、タイプとしては重力式となる。

3) 着床式洋上風力発電のプロジェクト

NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）のプロジェクトの中でFS調査として行った検討を紹介する。

まずは海域調査を実施する。ある海域を設定して、レイアウトを考える。その際、漁業権や、モノパイルに適した砂層の厚い海底であるか、風況がよいか等を重ね合わせて絞りこんでいく。海底地盤の状況や風況を測定する必要があるが、すべてのポイントで調査を実施することは難しいので、代表点を決めて調査・測定し、その間は音波探査で地盤の連続性や均一性を確認しながら推定することとする。

設計のうち、外力の算定に関しては、許容応力度設計法（長期・短期）の枠組みの中で、風車に係る国際規格IEC61400-3に基づき、検討荷重ケースを設定し、設計外力を算出する。暴風波浪時については、衝撃破砕力、非線形波の影響を考慮した時刻歴応答解析を実施する。

基礎とタワーをつなぐトランジションピースが通常設置されるが、欧州のウィンドファームでは、モノパイルとの接合部のグラウトが破壊してトランジションピースがずれ落ちる不具合が一時多発した。モノパイル式ではその部分の信頼性のある工法がポイントとなっており、その改善を研究している方も多い。

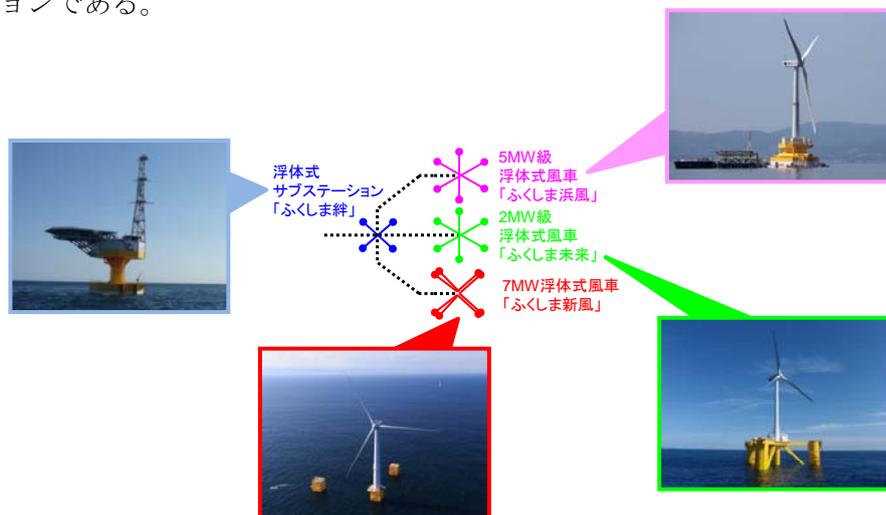
着床式の場合、脚を海底にセットして船体を海面から上げて波の影響を排除して施工を行える大型のSEP船が必要となる。日本でも海洋工事が盛んだった頃に複数保有していたが、現存するものはない。NEDOの実証の際にあるメーカーが大型のSEP船を2隻建造したが、現在は海外に売られたと聞いている。当時は、杭打ち用のクレーンを搭載したSEP船と材料を輸送してモノパイルを立て起こす装置をつけたSEP船の2隻が必要と考えられていたが、もう少し大型化して1隻でまかなうことを考えている。

施工方法としては、基礎杭の建込を行い、基礎杭を打設し、トランジションピースを設置し間詰コンクリート打設を行った後に風車組立という流れとなる。

4) 浮体式洋上風力発電のプロジェクト

洋上風力発電のメリットとして、岸から離れるため景観・騒音の問題が少ないといったことがあげられる。また、大規模化と大型化によるコスト低減も可能であり、陸地の場合と違い障害物がないので一様な風が吹くといったメリットもある。

福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業（経済産業省資源エネルギー庁委託事業）では、福島原発から約20km離れた広野火力発電所から沖合に約20km離れたところに風車を設置している。全部で4つの浮体構造物が設置されていて、一つは変電所や様々な計測機を設置したサブステーションである。



福島復興・浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業プロジェクト概要
 (出典：福島洋上風力コンソーシアム)

浮体構造物は船舶の扱いとなるので全ての浮体に船名が付いており、サブステーションは「ふくしま絆」、5MW級浮体式水車（平成28年設置）は「ふくしま浜風」、2MW級浮体式風車（平成25年設置）は「ふくしま未来」、7MW浮体式風車（平成26~27年設置）は「ふくしま新風」という名前が付いている。ふくしま浜風は現在沖合に浮かんでいるが、台風の影響でまだケーブルを繋げていない。

浮体方式として、ふくしま絆とふくしま浜風はアドバンストスパー方式で、ふくしま未来はコンパクトセミサブ方式、ふくしま新風はV字型セミサブ方式となっている。

サブステーションの浮体は、ジャパンマリンユナイテッド株式会社が製作しており、ふくしま浜風の風車は株式会社日立製作所、浮体はジャパンマリンユナイテッド株式会社、ふくしま未来は風車が株式会社日立製作所、浮体が三井造船株式会社、ふくしま新風は風車も浮体も三菱重工株式会社が製作している。

「ふくしま新風」の風車は、ローターの高さは海面より約105mである。8本の世界最大の係留チェーンにより支えられており、断面は132mm、重さは一つあたり230kgある。

施工方法として、まずは係留チェーンと係留アンカーを海域に設置し、アンカーの効き具合を確認するテストを行った後に、浮体を小名浜港に移動させる。その後に、風車を浮体の上に設置して、小名浜港から設置海域に移動させて係留するという流れになる。

プロジェクトは10社のコンソーシアムで行っており、代表は丸紅株式会社で技術アドバイザーとして東京大学、浮体メーカーとして三井造船株式会社、ジャパンマリンユナイテッド株式会社、三菱重工株式会社、風車メーカーで株式会社日立製作所、ケーブルメーカーで古河電気工業株式会社、ゼネコンとして清水建設株式会社、係留チェーン等の関係で新日鉄住金株式会社、取りまとめをみずほ情報総研株式会社が担当している。

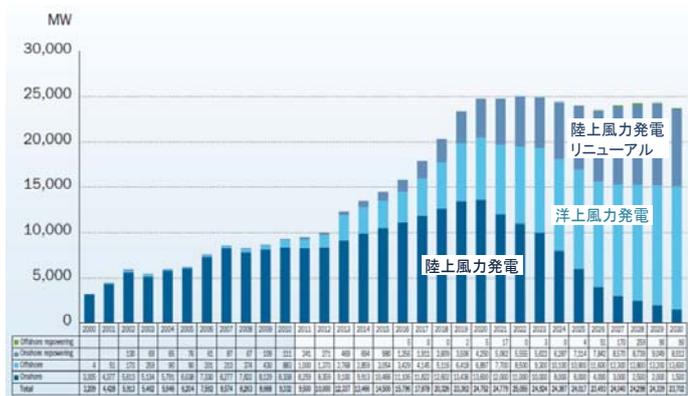
実証場所は、黒潮や親潮いった潮の流れが速い海域であること、台風が通過する海域であることから世界的にも厳しい海域である。太平洋の遠い場所で台風が発生した場合であつてもうねりが入ってくるので、私が施工で常駐している時は、常時1.5~2mのうねりがきており、作業船での作業は難しいという特徴がある。施工は清水建設株式会社と新日鉄住金株式会社の2社で行った。

5) 洋上風力発電の今後

欧州における洋上風力発電導入量の見通しに関して、陸上風力発電は2020年頃に頭打ちになると考えられており、2020年代前半にも陸上風力発電の導入量を超える見通しとなっている。日本の風力に関する政策は、ドイツやオランダを参考としており、日本でも同様の現象が起きることは考えられる。実際に、陸上風力の設置場所は限られてきており、条件の厳しい場所に設置する動きになってきている。

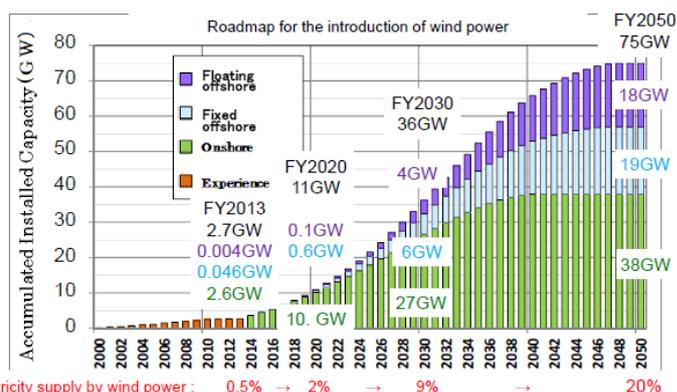
日本風力発電協会のロードマップによると、2050年に日本の全体の電力供給の20%を風力発電が担うということになっている。そのうち1/2が洋上風力であり、着床式と浮体式はほぼ同程度の割合で増加するとされている。

日本の洋上風力発電の導入拡大に向けた課題は3つある。1つ目は、立地場所の確保である。洋上風力発電は公共の海域を占有するため、漁業者や渡航船舶等のステークホルダーとの調整が必要となる。最近港湾法が改正され、港湾地域に洋上風力発電を建設できるようになった。北九州港で公募が始まっており、それが港湾地域での洋上風力発電第1号になると思う。



出典：EWEA「Pure Power wind energy target for 2020 and 2030」(2011)

欧州における風力発電導入量の見通し



日本風力発電協会のロードマップ

2つ目として大型のSEP船の配備が必要となる。五洋建設株式会社が大型のSEP船製作を発表しているが、1隻では不十分である。欧州ではSEP船が余っているという状況もあるので、欧州の余剰作業船の導入や低コストの作業船仕様の検討が必要となってくる。

3つ目として、ライフサイクルコストの低減が必要となる。撤去費用まで含めると、日本の洋上風力発電はまだ検討が必要である。特に洋上風力は世界に先駆けて実証施設は建てられたが、コストが高く、建設費は160万円/kW程度になっている。100万円/kWを切らないと普及は難しい。

■質疑応答

- Q 洋上風力発電設備の建設単価が160万円/kWというのは、数基程度をつくる場合のもので、100~200基を建設することによるスケールメリットは考慮されていないということでしょうか？
- A そのとおりである。最終的にはスケールメリット等も考慮しながら建設単価を下げていかなければならない。

◆講演(4)：廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入促進事業のご紹介

環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 廃棄物対策課 主査 田中吉隆氏

1) 太陽光発電と処分場の活用

太陽光発電は固定価格買取制度（FIT）が施行されて以降、導入量が伸びてきており、再生可能エネルギーの導入量の大半を占めている。今後、買取価格の低下や広大な用地の確保が難しくなってくる中で、埋立終了後の処分場等への太陽光発電の導入を推進している。

全国には約 3,600 ケ所の廃棄物最終処分場があり、そのうち約 1,600 ケ所の処分場は埋立が終了している。今後も順次埋立は終了していき、2030 年には 3,000 ケ所以上で埋立が終了すると予想される。

処分場は埋立が完了後の跡地の有効活用が課題である。例えば、生ゴミを埋めた処分場であれば、埋立終了後も分解が進みメタンガスが発生し、排水処理も必要である。そのため、維持管理費用もかかり、跡地の活用方法も限定されている。一般的に埋立が終わって廃止に至るまで 10～20 年かかると言われており、その中で太陽光発電を導入することは有効と考えている。

2) 処分場等への導入ポテンシャルと導入状況

各都道府県別の処分場太陽光発電導入ポテンシャルを推計したところ、大都市圏の導入ポテンシャルが高い結果を得ている。既に導入されているものも含め、全ての処分場に太陽光発電を導入した場合、設備容量は約 694 万 kW 程度となり、現在の FIT での太陽光発電の設備容量約 7,900 万 kW の 1/10 程度にあたり、少なくない結果となる。

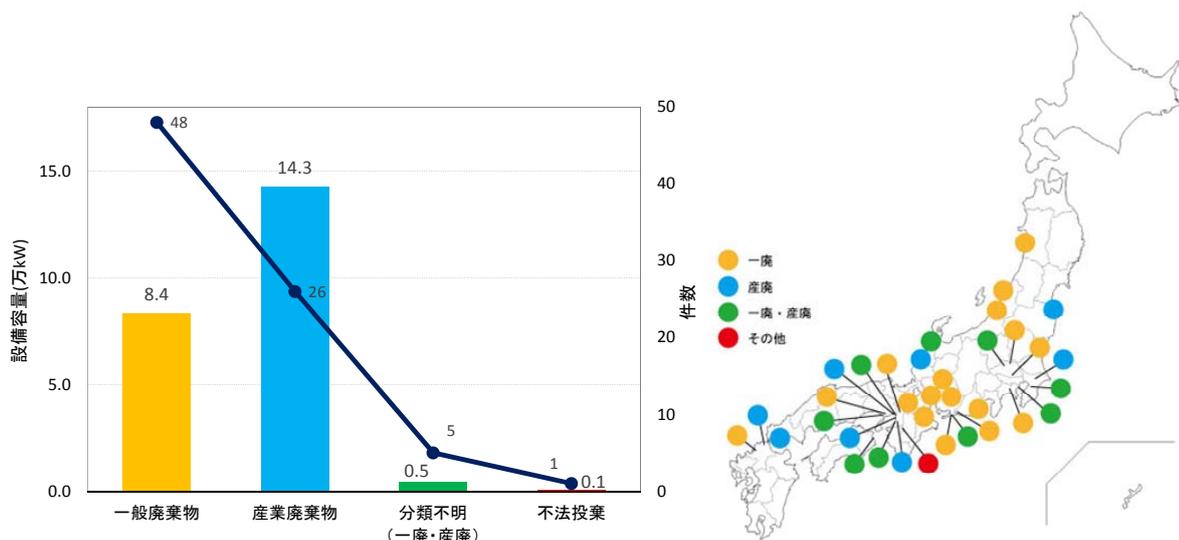
既に跡地の用途が決まっている処分場もあるが、用途が決まっておらず使い道がない処分場については、太陽光発電も選択肢の一つとして採用いただきたい。

現在のところ全国で処分場等における太陽光発電の導入事例は 80 件程度で、設備容量にして約 25 万 kW 存在している。一般廃棄物最終処分場や産業廃棄物最終処分場等、全国の至るところで導入されている。

3) 処分場等における太陽光発電事業のメリット

処分場等における太陽光発電事業のメリットとしては、大きくは 2 つある。1 つ目は、広大な土地が確保できることである。処分場なので基本は平坦な土地である。既存事例調査によると、約 7 割の既存事例は設備容量が 1,000kW を超えるメガワット級の大規模なものである。2 つ目のメリットは、安価な借地料が挙げられる。借地料については、FIT の調達価格等算定委員会では、設備容量の平均的な借地料は 150 円/m²としているが、処分場等の場合、無償提供やお金がかかる場合でも 1～100 円/m²程度の場合が多く事業採算性が確保しやすい。

処分場管理者にとってのメリットは、借地料が入るといことがある。また、自治体や地域住民にとっては、処分場自体は NIMBY 施設（迷惑施設）ではあるが、太陽光発電を導入することで地域の人々に電力を提供する等の形で地域還元や処分場のイメージアップが図れるといったメリットがあげられる。さらに、東日本大震災以降、自前で電源を持ちリスクに備えるという機運が高まっており、災害時緊急電源の選択肢の一つとして活用できる。



全国における処分場等太陽光発電事業の事例数と導入事例の位置図

4) 処分場等における太陽光発電事業の配慮事項

処分場ならではの問題点もある。発電事業者が配慮すべき事項として、埋立物の分解が進めば不等沈下が生じ、設備損傷や発電効率の低下が起こりうる。また、ガスが発生することで、架台の腐食が進みうることがあげられる。処分場管理者の配慮すべき事項として、表土の流出や荷重増加に伴う貯留構造物への影響、ガス抜き管や水処理施設等の維持管理施設への影響等があげられる。自治体・地域住民への影響としては、光害の発生や景観への影響があげられ、十分な配慮が必要となる。

5) 太陽光発電事業の事例

大栄環境株式会社が管理している産業廃棄物最終処分場では、東日本大震災の発災以降、エネルギーの確保を優先課題として太陽光発電事業に着目され、周囲に遮蔽物がない、民家がない、高圧連系ポイントが近接にある等、太陽光発電事業に適した立地であったことから事業化が進められた。事業の特徴としては、不等沈下を考慮した基礎の設計がなされていること、パネル間隔を広くとることでパネル同士の接触による破損を防止していること、架台部には耐食性のある材料を使用していること、遮水シート等を活用した浸出水抑制策を実施していることがあげられる。事業スキームについてみると、売電収入の一部を近隣で一般開放している和泉リサイクル環境公園の運営に役立てている。お金の還元や地域の雇用創出といった何らかの形で地域住民が関与されている事例が比較的スムーズに事業が進んでいる。

埼玉県の三ヶ山メガソーラーの事例では、処分場の埋立後の跡地利用に関して、県、地元町及び地元住民代表との検討会議において、太陽光発電事業を行うことが取り決められた。発電事業者（株式会社サイサン）は、売電収入の一部及び災害対策機器を寄居町または同町が指定する団体に寄付しており、維持管理業務の一部を地元のシルバー人材センターに委託することにより雇用を創出している。埋立物に影響を及ぼさないよう基礎の掘削を500mm未満として設計する、LPガスバルク発電システムと防災用具を公共施設へ寄付するなどの工夫もある。また、毎年、年間発電量の3.5%に40円を乗じた金額を寄付し、地域と連携を取りながら事業を実施している。

6) 配慮事項への対応

不等沈下については、既に沈下が確認されている場所では太陽光発電設備を置かない、もしくはその部分を避けて設置するようにする等が考えられる。また、連続コンクリート基礎を採用することで、一部沈下しても全体でその部分を吸収し、太陽光発電事業には影響が出ないようにするといったことも対応方策の例としてあげられる。

発生ガスへの対策については、ガス抜き管の位置を考慮してパネルを設置することや、基礎・架台の耐食性向上やガス放散経路確保による発生ガスの影響軽減等があげられる。

また、処分場太陽光発電事業の基礎の設置・撤去に関する法的位置付けについて、処分場廃止前であれば、設置・撤去に関して法的な懸念点はないが、処分場廃止後に設置・撤去を行う場合は、一部届出を必要とする場合がある。

既存事例40件を対象としたアンケート・電話ヒアリング調査によると、基礎の下部に覆土50cm以上を確保している場合が88%で最も多く、設置時期については、廃止前に設置されている場合が多い。



不等沈下への対策例：連続式コンクリート基礎



ガス抜き管の位置を考慮したパネル設置

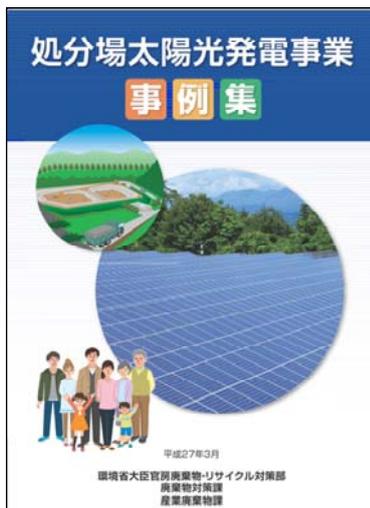
7) 処分場等太陽光発電の導入促進に向けた環境省の取組

環境省では廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入促進事業の中で、大きく3つの事業を行っている。①廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入実現可能性調査では、処分場等太陽光発電の発電見込量や事業採算性、維持管理方法の検討、概略設計等を行い、事業としての実現可能性を調査する。②先進的設置・維持管理技術導入実証補助では、処分場等の特徴を考慮した太陽光発電の導入に関して、先進的な技術を導入する者に対して補助を実施するものである。③廃棄物埋立処分場等への太陽光発電導入促進方策等検討は、①及び②を踏まえながら、処分場等太陽光発電のライフサイクルCO2削減効果、ライフサイクルコスト、事業スキーム、導入メリット、事業リスク等を検証するとともに、導入・運用ガイドラインを作成するものである。

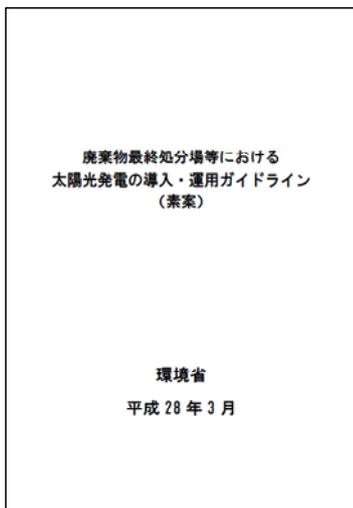
①については、発電最大出力や資金計画、事業採算性、CO2削減効果等の項目に関して検討を行い、FS調査を実施している。平成26、27年度に10箇所においてFS調査を実施しており、今年度は現在公募を終了した段階で、5件程度採択する予定である。

②については、民間企業や自治体等を対象として、処分場ならではの対策に対して1/2の補助を行うというものである。平成26年度～平成28年度に実施しており、過年度に採択した補助事業の導入技術例として、コンクリート連続基礎で不等沈下リスクを軽減や、モニタリング機器による沈下発生量の測定等がある。平成28年度についても現在一次公募を終了した段階で、平成26年度から3カ年にわたって計7件を対象に補助事業を行っており、秋頃に2次公募を行う予定である。

③のガイドラインについては、読みものとして分かりやすく、実際の導入に繋がるようなものにすることを意識している。具体的には、処分場等太陽光発電の導入に向けて、簡易検討と詳細検討に分けて検討手順を説明すること、簡易的に設置可能面積を計算する具体的な手法を掲載すること、特定地域の年平均日射量の特典方法を掲載すること、簡便に事業採算性が確認可能とすることを盛り込むこと、随所に既存事例やアンケート結果等を紹介するコラムを掲載すること等を想定している。



事例集



ガイドライン素案

ガイドライン素案の目次	
第1章	はじめに
第2章	用語の解説
第3章	処分場等太陽光発電の特徴及び法制度等
第4章	処分場等太陽光発電の導入に向けた簡易検討の流れとポイント (実施概要の検討、メリット・配慮事項の整理、事業採算性の簡易確認等)
第5章	処分場等太陽光発電の導入に向けた詳細検討の流れとポイント (事業スキームの検討、メリットの評価、地域貢献の検討、系統連系の検討、事業採算性の確認等)
第6章	おわりに

■質疑応答

Q 既に太陽光発電を導入している処分場は80件程度ということだが、全体の中での割合はどの程度か？また、太陽光発電を導入する処分場は増える傾向にあるのか？

A 導入事例の80件という数字は、アンケート調査等を踏まえて算出している。埋立が完了している処分場は約1,600カ所であるので、割合としてみると導入されている処分場は少ないが、処分場太陽光事業に興味を持つ管理者等は増えてきていると感じている。一方で、事業採算性が確保できる処分場には一定程度導入されてきており、今後は日射量は多くないが、地域と連携していきたいといった処分場等への導入段階にきていると認識している。

Q 一般廃棄物処分場と産業廃棄物処分場とで導入に関して違いはあるか？

A 自治体から問合せは多くいただいている。産業廃棄物処分場管理者についても、独自に情報を入手されてFS調査等に多くご応募いただいている。跡地の活用方法について悩んでいる方々

には太陽光発電事業はインパクトがあると思う。

Q 届出に手間が掛かるので廃止前に基礎を設置撤去している事例が多いのか？

A アンケート調査等に行っていないが、廃止までに時間がかかる場合が多く、太陽光発電設備が設置されているので廃止までの期間を延ばす場合もある。届出が必要となる影響はそこまで大きくはないと感じている。

Q 廃止後の届出について、簡素化できればよりよいのではないか。

A 太陽光発電事業に限らず、廃止後の届出の簡素化に関するニーズはあまり聞いていないが、必要に応じてガイドライン作成の中でも検討していく。

◆講演(5)：再生可能エネルギー分野における空間情報技術の活用事例

アジア航測株式会社 北原一平氏

1) 空間情報技術とは？

空間情報技術とは、計測技術を用いた地理空間情報の取得、計測、計測データの解析・処理・加工とその利活用、問題解決などの技術と定義されている。地理空間情報とは、地理・空間に関係づけられた情報を指し、簡単に言うと、GISとして使われているもの、それを作るための地図、3次元の情報、それに結び付けられる属性である。

アジア航測には空間情報技術として航空計測、モバイルマッピング、3Dモデリング、GISソリューションがあり、コンサルティング技術として土木コンサルティング、環境アセスメント、インフラ維持管理等がある。アジア航測はこれらを融合させて再生可能エネルギーに取り組んでいる。

2) 再生エネルギー事業と空間計測技術

再生可能エネルギーの発電事業は、適地選定から始まり、FS調査、地形測量、許認可申請、環境影響評価、設計、施工を経て発電開始という流れとなる。各工程において必要な情報として、地形データ、路線データ、家屋データ、送電線データ等の地理空間情報がある。

再生可能エネルギーの地形データに関して、比較的よく使用されるのが航空レーザ計測である。GPS衛星の位置情報から航空機(固定翼・回転翼)等のプラットフォームに搭載したGPS/IMUによってプラットフォームの位置を把握し、機体からレーザを地上に発射して、跳ね返ってくるレーザの時間で地物(地盤高、樹林等)の位置を把握する仕組みである。

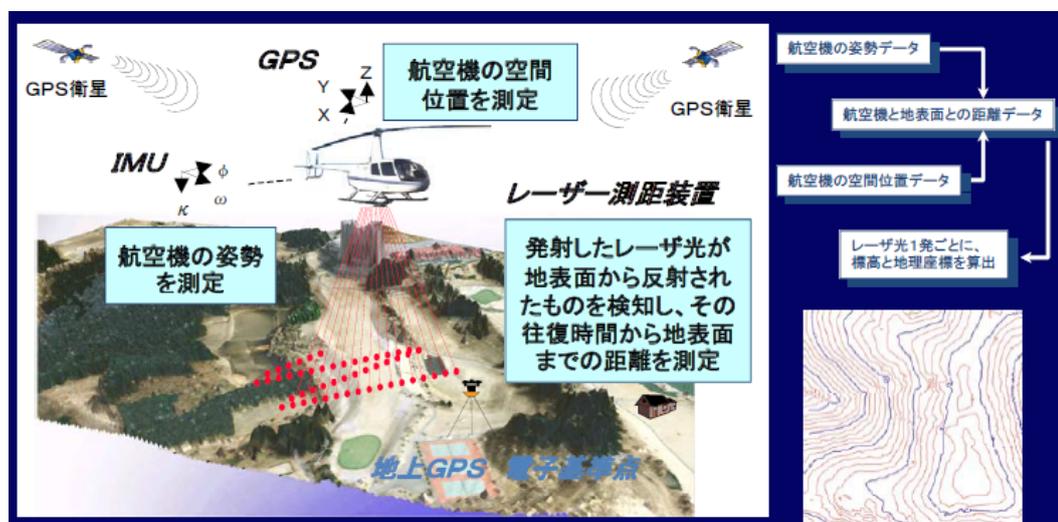
得られた地形データを分かりやすく表現する技術として、代表的なもので赤色立体地図がある。例えば、樹木に覆われていて形状が上空からでは分からない場所でも、航空レーザ計測の情報を赤色立体地図として表示することで、ひと目で地形の特徴が把握できる。

3) 再生エネルギー事業の取組

アジア航測は再生可能エネルギーへの取組として、太陽光、小水力、陸上風力、洋上風力、バイオマス、地熱等、送電線の新設等に携わっている。再生可能エネルギーの発電施設の建設までに至る工程の中で、アジア航測は適地選定や測量・地質調査等の再生可能エネルギー発電事業の上流側の部分に主として関係することが多いが、小水力発電に関しては、発電事業も行っている。

小水力発電事業の最初の事業として東北電力の100%出資の子会社である東北発電工業株式会社を中心とした合弁会社に参画し、小水力発電事業を進めている。この事業は宮城県の企業局が運営している水道管の中にフランシス水車を設置するもので2年以上順調に発電を行っている。

海外事業については、ミャンマーに日本の中小企業が開発した小型水車を導入して、無電化農村で利活用してもらうという事業に取り組んでいる。昨年12月にはミャンマーの再生可能エネルギーの研究機関であるDRI(Department of Research and Innovation,教育省下部組織)と再生可能エネルギーに関するワークショップも開催している。



航空レーザ計測

4) 事例紹介

①ポテンシャルマップ

平成 21 年度から環境省「再生可能エネルギーに関するゾーニング基礎情報整備」を、株式会社 エックス都市研究所、パシフィックコンサルタンツ株式会社及び伊藤忠テクノソリューションズ株式会社の 4 社で実施している。今後の再生エネルギーの導入普及の施策検討のための基礎資料として、日本における再生可能エネルギー（太陽光、風力、中小水力、地熱、地中熱・太陽熱）の推計を行い、推計結果を適切に提供することを目的とするものである。推計結果は、環境省の Web サイトで公表している。

また、環境アセスメント環境基礎情報データベースシステムの構築にも携わっており、この情報も環境省の Web サイトで公表している。

②小水力発電

アジア航測は小水力発電の開発の各工程において、次のようなサービスを提供している。

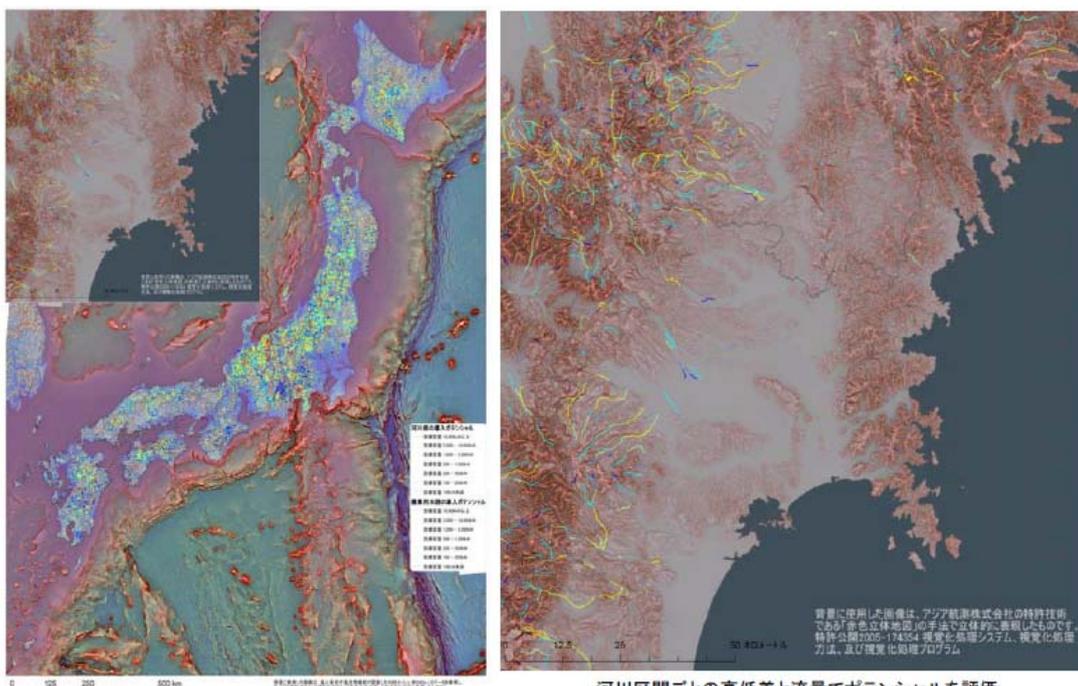
- (1) 適地選定 既存調査に関する情報収集整理、GIS による適地絞り込み
- (2) 可能性調査 地形判読・現地調査、概略検討・経済性評価
- (3) 地形測量 航空レーザ計測・図化、赤色立体地図作成
- (4) 基本設計 発電計画・概略設計

特に小水力発電においては、流量と落差が重要であり、その情報を、データベースとして保有し、地形図を用いながら GIS 上に表現している。

国内における過去の主な水力資源調査として、経済産業省の水力開発地点計画策定調査（第 5 次発電水力調査）や中小水力開発促進指導事業基礎調査（未利用落差発電包蔵水力調査）、環境省の再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査がある。アジア航測はそれらの情報をデータベースとして電子化し、法規制状況、流況、道路からの距離、人家からの距離、送電線からの距離等の地理情報を重ね合わせ、事業性の高い地域を抽出できるようにしている。その一つとして第 5 次発電水力調査の情報を地形図（1/2,500 レベル）や赤色立体地図に落とし込んで概略設計まで行うことができる。また、1/2,500 の地形図を用いた FS 調査や砂防堰堤を取水地点とする発電計画の基本設計や農業用水路による発電計画の基本設計を行っている。

③太陽光発電

太陽光に関しては、家屋図と家屋台帳から作成した 3D 都市モデルを基に、住宅向け太陽光の利用可能量の調査も行っており、京都市内の太陽光利用可能量の推計支援を行っている。メガソーラー発電事業に関わる空間情報としては、基本地形、法規制、系統連系があげられる。メガソーラーの開発には空間情報の活用が有効であるため、アジア航測は F/S から設計、許認可支援等について FIT の開始以来、多くの民間事業者から 100 件近い案件を受注している。



【編】エックス都市研究所 アジア航測 【校】パシフィックコンサルタンツ 【校】伊藤忠テクノソリューションズ 【校】エヌ・ティ・エー・アーバン・エコ【校】日本大学生産工学部長持研実室

中小水力発電の導入ポテンシャルマップ

④陸上風力発電

陸上風力では、あるサイトで事業実施が決まると航空レーザ計測等の航空測量を使用するとともに、長大なブレードを運搬する必要があるため、道路周辺3次元情報（地形・地物形状・画像）を取得するモバイルマッピングシステム（MMS）が非常に役立つ。航空レーザ計測では1/1,000の図面ができるため、予備設計で算出した土工量等について実施設計(1/500)との差が小さい。

風況シミュレーションに関しては、今までは1/25,000等のあまり精度がよくない地形図が使用されていたが、乱流を正確に計算するためには1/2,500以上の精度の高い図面で微地形を反映させることが必要となる。さらに樹林密度や樹高を付加することで、シミュレーションの精度を高める研究を現在九州大学及び大手風量発電事業者と共同で行っている。

⑤洋上風力発電

洋上風力に関しては、ヨーロッパで多くの洋上風力事業のコンサルティングを手掛けてきたFugroグループと協力し、彼らの技術を日本に導入するというスキームを構築している。Fugroのグループ会社にはそれぞれ得意分野があるが、それらをつなぎ合わせることでワンストップサービスが提供できる。Fugroグループの優位技術として、GISを使用した適地選定、風況調査（Wind Lidar Buoy）、環境アセスメント、土質調査・基礎設計、ドリリング、風車の建て込みがあげられる。

Wind Lidar Buoyは、洋上の風況観測におけるコスト削減、工期短縮のニーズに応じて、ノルウェーにあるFugro Oceanorが欧州の洋上風力発電事業者、電力会社と共同で開発したソリューション商品である。

Fugroグループはボーリング調査とサンプリングに関しても、自社製の地質調査船やジャッキアップリグ（移動式掘削装置）を用いて最先端の技術でボーリング調査やサンプリングを行うことができる。また、Fugroグループはモノパイル式洋上風力について直径8mまでのドリリングと2.5MW規模の風車の設置までできる。

アジア航測は昨年度からNEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託を受けて、産業技術総合研究所や神戸大学、風力エネルギー研究所と共同で洋上風況マップに関する業務を実施している。この業務では一部洋上風況マップができており、NEDOのホームページでデモサイトを立ち上げて公表している。NEDOの洋上風況マップの特徴としては、洋上風況に関する新規のシミュレーションを行うことに加え、事業者が事業を行うにあたり必要となるほとんどの情報を同時にGIS上で入手することができるようにしていることがあげられる。

⑥木質バイオマス発電

木質バイオマス発電は、間伐材を使用することでFIT（固定価格買取制度）の買取価格が高くなるように設定されており、発電収入の一部を山に還元することで富の再配分の機能があると言われている。

航空レーザ計測は地面だけでなく木にあたって反射してくるものまで取得できるので、樹林から反射されるレーザデータを処理することで樹木1本1本について位置と樹幹の形を把握することができ、それを単木抽出と呼んでいる。レーザ計測による樹幹の大きさと現地調査による材積は相関関係がある。これらのことから樹木1本1本についてその位置と高さ（樹高）と材積を把握することができる。また、レーザの反射強度から樹種の判読も半自動で行うことができる。さらに、樹高区分や立木本数区分を使用することで、小班毎に樹林密度を算出することができ、木質バイオマス発電のために周辺の樹林から間伐材をどのタイミングでどれだけ伐り出すことが出来るのかという推計も行うことができる。

日本には多くの人工林があるが、作業道がないために伐り出すことができない場所が多い。そのため、林野庁が中心となり路網を整備しているが、航空レーザ計測データから作成した赤色立体地図を使用することで路網の計画作成も簡単に行うことができる。

⑦地熱発電・温泉発電・地中熱

地熱発電、温泉発電、地中熱については、環境省ポテンシャル調査やゾーニング基礎情報整備の中で導入ポテンシャルを推計している。東京都の委託業務で作成した地中熱導入促進マップでは、かなり細かい分布を把握している。

⑧送電線新設の計画・管理

電力会社は現在系統連系のための送電線の新設を行っているが、航空レーザ計測データを利用して詳細な横断図を作成すること等で送電線のルートの選定支援も行っている。また、航空レーザ計測データは送電線の支障木管理にも使用されている。

⑨海外展開

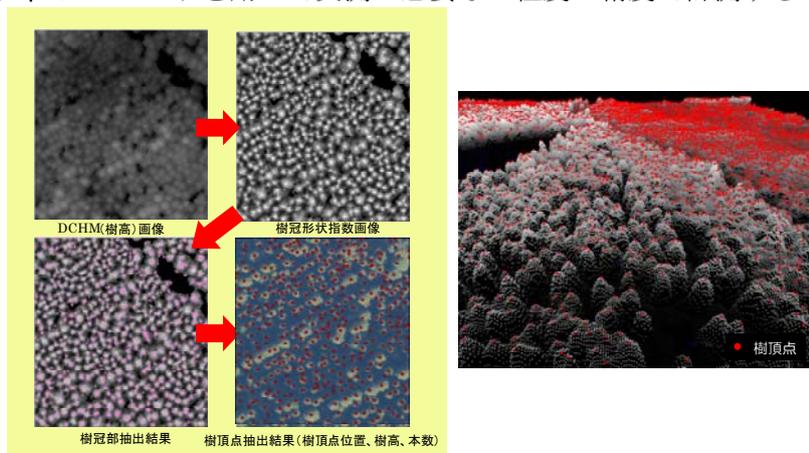
ミャンマーで小水力に関する調査を行った際に、ミャンマーの地形図を赤色立体地図で表現し、衛星データから得られた雨量のデータを重ね合わせて相対的に区分したマップを作成しており、それがミャンマーの小水力発電に関するポテンシャルマップとして使用できると考えている。また、ミャンマーの 1/50,000 の地図は日本の支援で作成されているが、小水力発電開発の検討にはさらに詳細な地形図が必要である。詳細な地形図の作成には、WorldView-3 (商業用高分解衛星) のデータ等が活用できると考えている。

5) 新しいセンサー技術の再生エネルギー事業への活用

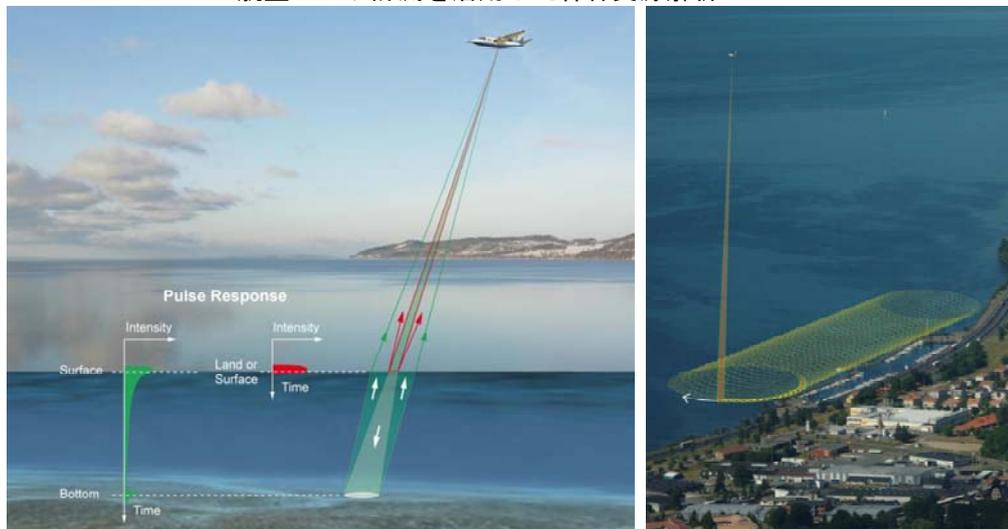
ALB (航空レーザ測深) は一般的にグリーンレーザと呼ばれており、水を透過する波長の可視光を利用したものである。アジア航測が保有する機材の名称は Chiroptera II (キロプテラ 2) であり、水中、陸上同時計測可能である。また、4 バンド同時取得可能なデジタルカメラも搭載している。和歌山県白浜町の日置海岸と志原海岸にて計測試験を行った。海域の水深や底質等を把握することができ、水深は 20m 程度まで計測でき、洋上風力発電ファームの設置やケーブルの設置に利用することができる。

今はやりのドローン (UAV) に搭載するセンサーの一つに自立飛行が可能な UAV レーザシステムというものがある。以前は UAV を用いた写真計測による SfM (複視点の画像から 3D を再現する手法) を行っていたが、今後は UAV レーザによる点群取得が中心になっていくものと考えられる。UAV レーザは低高度から地盤・地物情報を取得するので、分解能が 0.05~0.2mDEM 程度と 0.5~2mDEM の航空機レーザと比較して非常に小さい。また、降雨・強風でない限り現場ですぐに飛ばすことができ、計測後すぐに処理ができ迅速にデータを提供することができるので、航空機レーザと比較して低コストかつ短期間で実施できるという利点がある。

国土交通省が実施している i-Construction の一環として UAV レーザを利用しているが、今後様々な分野で活用できると考えている。今後は小水力発電等の狭い範囲で測量を行うということであれば、UAV レーザを用いて実測が必要ない程度の精度で計測することが期待される。



航空レーザ計測を活用した森林資源解析



航空レーザ測深の計測概念

出典 : LeicaGeosystemsHP