

令和5年度 静岡県土木施工管理技士会 技術研修会

持続可能な自然環境と社会を創造  
するために建設業界の果たす役割

2023年11月28日(火)

東海大学 名誉教授  
リニアアブルエナジー・ジャパン株式会社

田中 博通

(photo by Ohta)

私の研究に対する基本的なスタンス

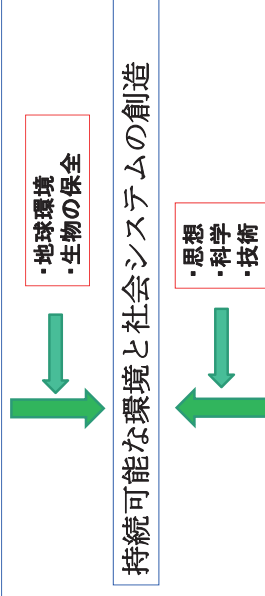
持続可能な自然環境と社会を創造するために

1. 地球環境問題 …… 地球温暖化, 自然環境, 環境汚染
2. 食糧 …… 食糧生産, 食糧自給率, 人口増加
3. 水 …… 水環境, 生活用水, 農業用水, 工業用水
4. エネルギー …… 再生可能エネルギー
5. 平和 …… 人種・宗教・イデオロギーを超越した

科学技術は本質的なものに貢献すべきである。

# 1 研究の背景とエネルギー の現状

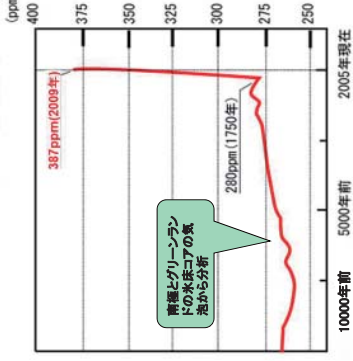
Agenda21 (1992年6月にブラジルのリオ・デ・ジャネイロ市で開催された地球サミット(環境と開発に関する国際連合会議)で採択された21世紀に向け持続可能な開発を実現するために各国および関係国際機関が実行すべき行動計画)



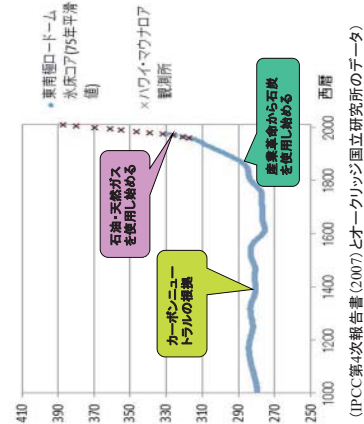
哲学

- ・いかに生きるか
- ・どのような自然環境にするか
- ・どのような産業構造にするか
- ・どのような社会システムにするか
- ・どのような国家や世界を目指すべきか

### 過去10000年のCO2濃度変化



### 過去1000年のCO2濃度変化



・1750年(産業革命)までは10000年間もの間大気中のCO<sub>2</sub>濃度は約280ppmであった。

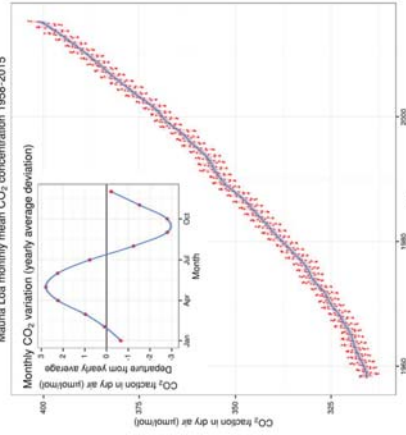
・IPCC第4次報告書では、CO<sub>2</sub>の増加原因を90%を超える確率で人間活動による人為的なものであると結論付けている。

・CO<sub>2</sub>増加の原因 →化石燃料の大量消費、森林の減少

Charles David Keeling (1928年4月20日 - 2005年6月20日)

(カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所教授)

**キーリング曲線 (Keeling Curve)**  
 マウナロア観測所 (MLO)  
 (標高: 3397m)



Dr. John E Barnes (右から二人目)  
 (2015年6月25日)

### Extinction risk from climate change

CHRIS D. THOMAS<sup>1</sup>, ALISON CAMERON<sup>1</sup>, RHYE E. GREENE<sup>2</sup>, MICHEL BAKKENES<sup>3</sup>, LINDA J. BEAUMONT<sup>4</sup>, YVONNE C. COLLINGHAM<sup>5</sup>, BAREND F. N. ERASMUS<sup>6</sup>, MARINEZ FERREIRA DE SQUIERA<sup>7</sup>, ALAN GRAINGER<sup>8</sup>, LEEA HANNAPF<sup>9</sup>, LESLEY HUGHES<sup>10</sup>, BRIAN HUNTLEY<sup>11</sup>, ALBERT S. VAN JAARSVELD<sup>10</sup>, GUY F. MIDGLEY<sup>11</sup>, LERA MILERS<sup>12</sup>, MIGUELA ORTEGA-HURTADO<sup>13</sup>, A. TOWNSEND PETERSON<sup>14</sup>, OLIVER L. PHILLIPS<sup>15</sup> & STEPHEN E. WILLIAMS<sup>16</sup>

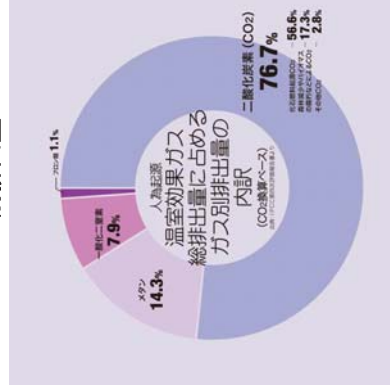
<sup>1</sup> Centre for Biodiversity and Conservation, School of Biology, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK  
<sup>2</sup> Royal Society for the Protection of Birds, The Lodge, Sandy, Bedfordshire SG19 2DL, UK, and Conservation Biology Group, Department of Biology, University of Exeter, Exeter EX4 4RJ, UK  
<sup>3</sup> National Institute of Public Health and Environment, P.O. Box 1, 3720 BA Bilthoven, The Netherlands  
<sup>4</sup> Department of Biological Sciences, Macquarie University, North Ryde, 2109, NSW, Australia  
<sup>5</sup> University of Durham, School of Biological and Biomedical Sciences, South Road, Durham DH1 1TA, UK  
<sup>6</sup> Animal, Plant and Environmental Sciences, University of the Witwatersrand, Private Bag 3, WITS 2050, South Africa

**2004年1月8日付け「Nature」に掲載されたLeeds大学(イギリス)国際研究チームの論文は、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CO<sub>2</sub>濃度が500~550ppmになり、陸上動植物の15~37%が絶滅するという結論を得た。**

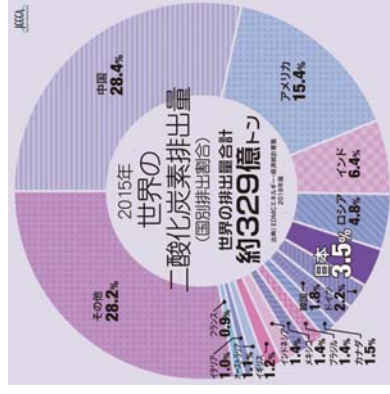
Climate change over the past 30 years has produced numerous shifts in the distributions and abundances of species and has been implicated in one species-level extinction. Using projections of species' distributions for future climate scenarios, we assess extinction risks for sample regions that cover some 20% of the Earth's terrestrial surface. Exploring three approaches in which the estimated probability of extinction shows a power-law relationship with geographical range size, we predict, on the basis of mid-range climate-warming scenarios for 2050, that 15–37% of species in our sample of regions and taxa will be 'committed to extinction'. When the average of the three methods and two dispersal scenarios is taken, minimal climate-warming scenarios produce lower projections of species committed to extinction (18%) than mid-range (24%) and maximum-change (35%) scenarios. These estimates show the importance of rapid implementation of technologies to decrease greenhouse gas emissions and strategies for carbon sequestration.

## 世界の温室効果ガス排出推移

温室効果ガス総排出量に占める  
 ガス別排出量



世界のCO<sub>2</sub>排出割合(2015)

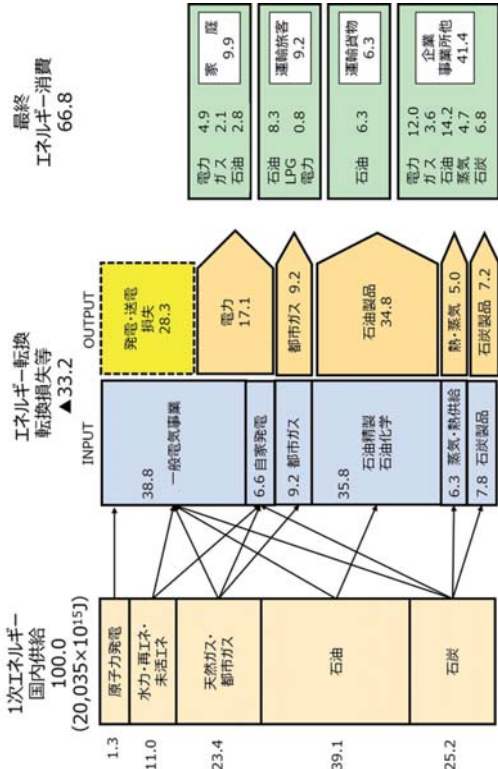


[http://www.jecca.org/chart/chart01\\_03.html](http://www.jecca.org/chart/chart01_03.html)  
 (IPCC第4次評価報告書)

出典)EDDMC/エネルギー・経済統計要覧2018年版一)

・CO<sub>2</sub>の影響が大きい。  
 ・CO<sub>2</sub>排出量は、中国、アメリカで43.6%を占め、日本は5番目である。

# 日本のエネルギーバランスフロー(2019年度)

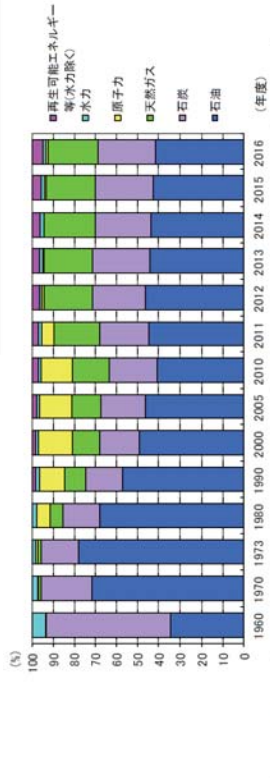
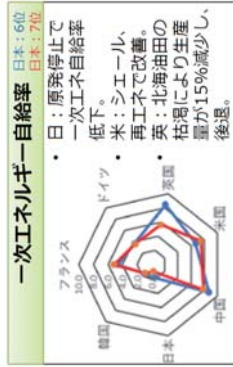


化石燃料の割合が高い。(87.7%)

(エネルギー白書2019より)

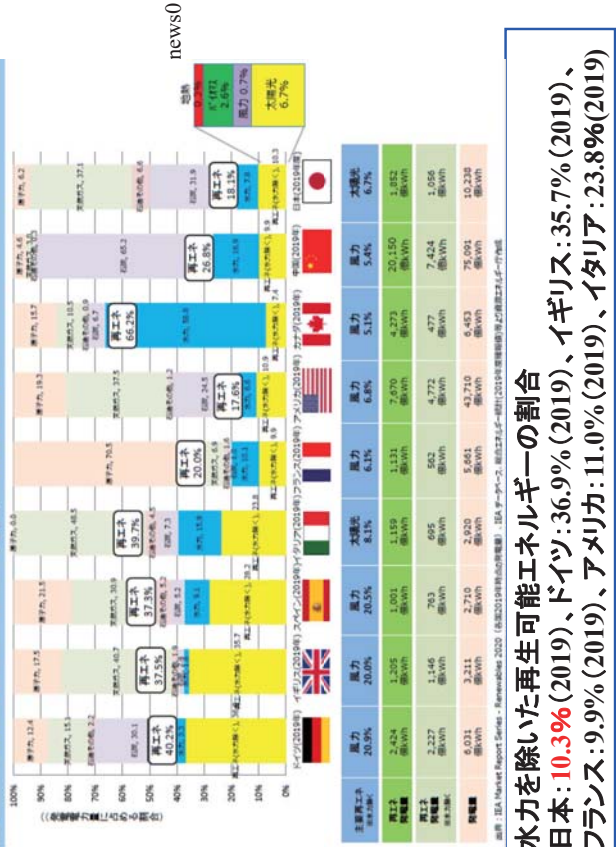
一次エネルギー国内供給構成及び自給率の推移 (エネルギー白書2018)

2016年のエネルギー自給率は8.3%である。



(注1) IEAは原子力を国内産エネルギーとしている。(注2) エネルギー自給率(%)=国内産出/一次エネルギー供給×100。 出典: 1989年度以前はIEA「World Energy Balances 2017 Edition」、1990年度以降は資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」を基に作成

# ①世界の動向: 再生可能エネルギーの発電比率



水力を除いた再生可能エネルギーの割合

日本: 10.3% (2019)、ドイツ: 36.9% (2019)、イギリス: 35.7% (2019)、フランス: 9.9% (2019)、アメリカ: 11.0% (2019)、イタリア: 23.8% (2019)

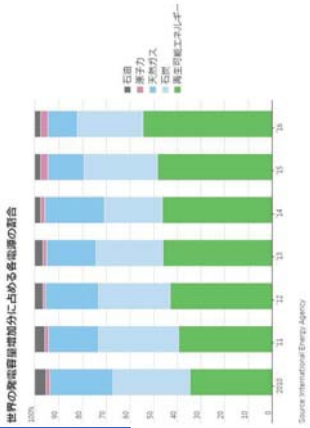
THE WALL STREET JOURNAL (2018年6月2日) 世界で再生可能エネルギー投資が加速、その背景とは

再生可能エネルギーへの世界的な投資額が、石炭・天然ガス・原子力発電所への投資額を上回っている。⇒ 風力・太陽光発電のコストが下がった

再生可能エネルギーへの投資額 約2970億ドル(2016年) (32.7兆円) 原子力・石炭・天然ガス・石油発電所への投資額(1430億ドル)の2倍 IEAの見通しでは、2025年には発電容量の正味増加分の56%を再生可能エネルギーが占めているもようだ。

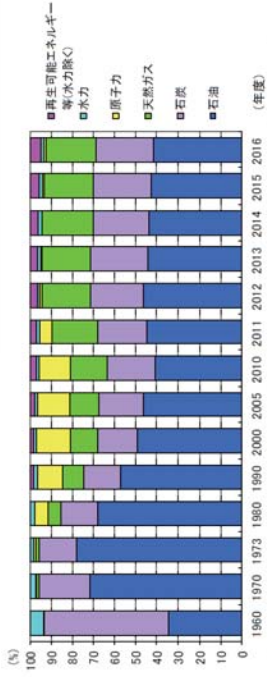
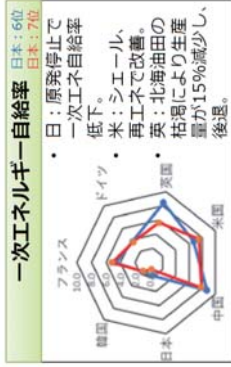
再生可能エネルギー(大型水力発電ダムによる発電除く)の発電割合は2017年に12.1%となり、10年前の2倍超に達した。国連環境計画(UNEP)

2017年の発電コストの世界平均  
陸上風力: 60ドル/MW (6.6円/kWh)  
太陽光: 100ドル/MW (11円/kWh)  
新型化石燃料発電所: 50~170ドル/MW (5.5~18.7円/kWh) (IRENAより)



## 一次エネルギー国内供給 構成及び自給率の推移 (エネルギー白書2018)

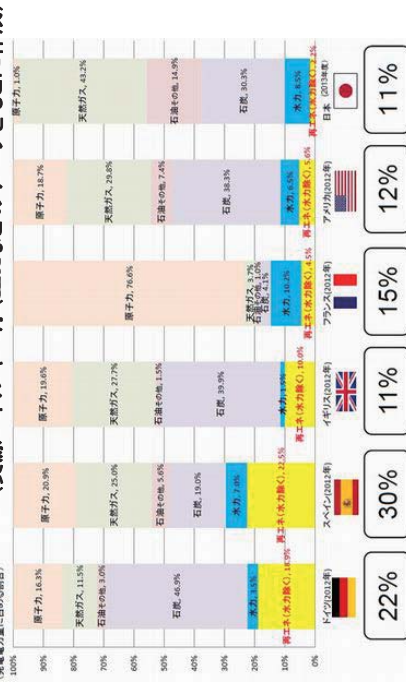
2016年のエネルギー自給率は8.3%である。



(注1) IEAは原子力を国内産エネルギーとしている。(注2) エネルギー自給率(%)=国内産出/一次エネルギー供給×100。  
出典：1989年度以前はIEA [World Energy Balances 2017 Edition]、1990年度以降は資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」を基に作成

## 再生可能エネルギーの導入状況

(資源エネルギー庁 (IEAなどのデータをもとに作成))



(http://www.itmedia.co.jp/smartjapan/articles/1406/23/news018.html)

## 水力を除いた再生可能エネルギーの割合

日本：2.2% (2013)、ドイツ：18.9% (2012)、スペイン：22.5% (2012)  
イギリス：10.0% (2012)、フランス：4.5% (2012)、アメリカ：5.6% (2012)  
・わが国の導入割合はかなり低水準である。

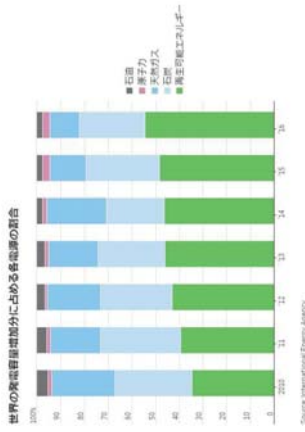
## THE WALL STREET JOURNAL (2018年6月2日) 世界で再生可能エネルギー投資が加速、その背景とは

再生可能エネルギーへの世界的な投資額が、石炭・天然ガス・原子力発電所への投資額を上回っている。← 風力・太陽光発電のコストが下がった

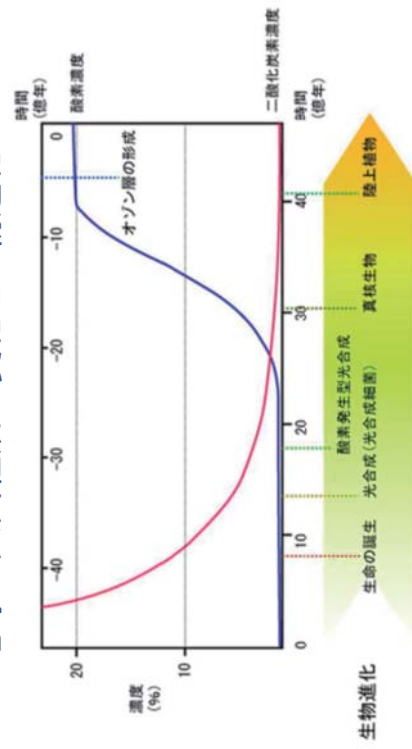
再生可能エネルギーへの投資額 約2970億ドル (2016年) (32.7兆円)  
原子力・石炭・天然ガス・石油発電所への投資額 (1430億ドル) の2倍  
IEAの見通しでは、2025年には発電容量の正味増加分の56%を再生可能エネルギーが占めているもようだ。

再生可能エネルギー(大型水力発電除く)の発電割合は2017年に12.1%となり、10年前の2倍超に達した。国連環境計画(UNEP)

2017年の発電コストの世界平均  
陸上風力 60ドル/MW (6.6円/kWh)  
太陽光 100ドル/MW (11円/kWh)  
新型化石燃料発電所 50~170/MW (IRENAより)



## 地球の大気組成の変化と生物進化



(出所) 井上 新: <http://www.biol.tokushima.ac.jp/~inouye/ino.etc.oxygenphotosynthesis.html>

・原始大気は、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)と水蒸気(H<sub>2</sub>O)が主成分  
・約25億年前に海の中の藻類などによる光合成  
→CO<sub>2</sub>を有機物として固定→O<sub>2</sub>を排出

# 最近の洪水災害

発生日	災害名	原因	主な被害河川	被害状況
2015年9月9日	関東・東北豪雨	台風18号及び台風19号から変わった低気圧に向かった雨から溜った空気が流れ込んだ。五ヶ丘観測所で24時間雨量551mm。	鬼怒川	常陸市(死に2名、重症3名、中等症21名、軽症20名)
2017年7月5日	九州北部豪雨	梅雨前線が西日本付近に南下し、線状降水帯が発生した。新倉市付近では3時間雨量400mm、12時間で約900mmの雨量。	筑後川水系	朝倉市で34人、東峰村で3人、日田市で3人、計40人死亡
2018年6月28日 ~7月8日	西日本豪雨	台風7号および梅雨前線等の影響による集中豪雨。総雨量は、四国地方で1800mm、東海地方で1200mm。	高梁川水系	237人(岡山県66人、広島県92人、愛媛県31人)
2019年10月12日 ~13日	令和元年東日本台風	台風19号は、12日19時前に大動で強い勢力で伊豆半島の上陸し、その後、関東地方を通過して13日12時に三陸沖東部で温帯低気圧に変わった。静岡県、新潟県、関東甲信地方、東北地方の多くの地点で3.6、12、24時間降水量の観測史上1位の値を更新	千曲川 阿武隈川	死者105人、行方不明者3人
2020年7月2日~7 月31日	令和2年7月豪雨	長期にわたり梅雨前線が本州付近に停滞し、3日から5日にかけては九州で多数の大規模な線状降水帯が発生した。3日から14日(12日間)の全国の総降水量は25万3,041.5mm	球磨川 筑後川 飛騨川 江の川 濃上川	死者86人、行方不明者2人
2021年7月3日	伊豆山土室流災害(令和3年7月豪雨)	西日本から東日本にかけて停滞する前線に向かって暖かく湿った空気が攪き流れ込み、大気の状態が非常に不安定となったため、東海地方から関東地方前線を中心に記録的な大雨となった <sup>[1]</sup> 。群馬に比較的近い群馬市南側の観測地点では、3日15時20分までの48時間で321.1mm	逢初川	死者29名

国土交通省による今世紀末の雨量算定 ⇒ 計画流量の見直し  
**本州：現在の1.1倍、北海道：1.15倍**

## 再生可能エネルギーの分類

1. 風力 ..... 電力  
 2. 太陽光 ..... 電力・熱  
 3. 地熱 ..... 電力・熱  
 4. **バイオマス** ..... 電力・熱・燃料・素材  
 5. **海洋エネルギー** ..... 電力

① 潮流  
 ② 海流・潮流  
 ③ 波  
 ④ 海洋温度差  
 ⑤ 塩分濃度差

「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)  
 (バイオマス、太陽光発電、太陽光熱利用、風力発電、雪氷熱利用、地熱発電など)

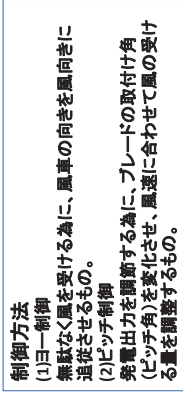
1) 空気エネルギーに変換する方式  
 2) 機械的なエネルギーに変換する方式  
 3) 水の位置エネルギーまたは水流エネルギーに変換する方式

私たちは、小型木質バイオマス発電装置と越波式波力発電装置の研究開発を行っています。

## 2 風力発電

### § 2-1 風力発電の仕組み

ブレード(羽根)が風を受けて回り、ローター軸を通じて、増速機(ギヤボックス)によって回転を上げ、発電機(シエネレーター)に接続し、発電する。



### § 2-2 風力発電の発電量

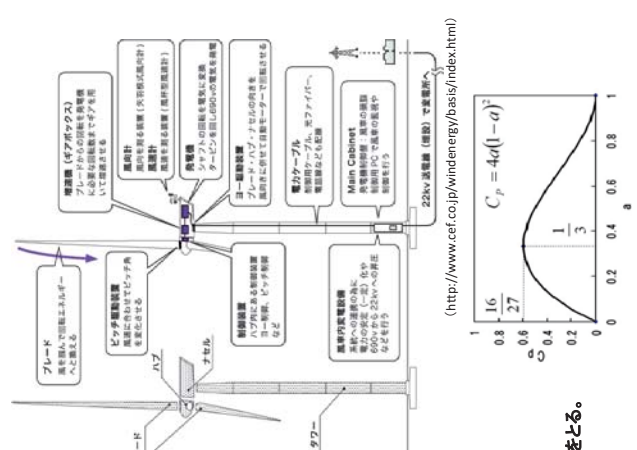
風速v、空気の密度ρ、ブレードの半径rのときの風のパワー(Pw)は

$$P_w = \frac{1}{2} \pi r^2 \rho v^3$$

風車を通過したときの減速比a (0<a<1)から風力発電出力(Po)を求める。Cpは理論効率。

$$P_o = \frac{1}{2} \pi r^2 \rho v^3 4a(1-a)^2 = C_p \frac{1}{2} \pi r^2 \rho v^3$$

減速比 a=1/3 のとき Cp=16/27 (=59.3%) の最大値をとる。  
**Betzの限界値** (風車の理想効率)



実際の風車に効率は0.4~0.45である。

【例題】ブレード半径30mの風車が、風速10m/s、効率40%で発電する時の理論的な発電量を求めなさい。ここで、空気密度は $\rho=1.225\text{kg/m}^3$

$$(解) r=30 \text{ m}, V=10\text{m/s}, \eta(Cp)=0.4$$

$$P_0=Cp \cdot \frac{1}{2} \rho V^3 \cdot \pi r^2 = (0.4) \cdot (1/2) \cdot (1.225\text{kg/m}^3) \cdot \pi \cdot (30\text{m})^2 \cdot (10\text{m/s})^3 = 692400\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3 = 692.4\text{kW}$$

ただし、 $1\text{W}=1\text{J/s}=1\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$

風車出力は直径で決まる。

$$\text{kW} = 0.3 \times (D = \text{直径m})^2$$

出力	600kW	1MW	2MW	3~4MW
直径	45m	57~61m	75~80m	100~120m

### S 2-3 風力発電の運転特性

風力発電システムは一定風速以上になると発電を開始し、出力が発電機の定格出力に達する風速以上ではピッチ制御あるいはストール制御による出力制御を行い、更に風速が大きくなると危険防止のためローターの回転を止めて発電を停止する。

**ピッチ制御:** カットアウト風速に達した時点でピッチ(翼の角度)を変えて風を受けないようにする方法。

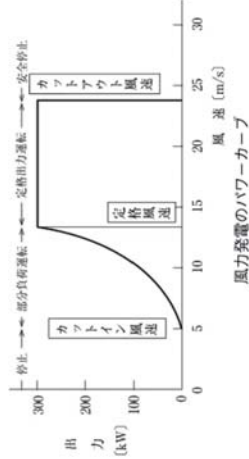
**ストール制御:** 一定以上の風速になると翼が失速するような翼形状に設計されている

**運転特性……出力カーブ(パワーカーブ)**

**カットイン風速:** 3~5m/s

**定格風速:** 8~16m/s(定格出力に依存)

**カットアウト風速:** 24~25m/s



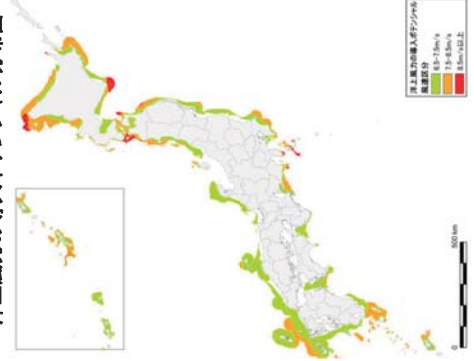
### S 2-7 風力の賦存量とポテンシャル

陸上風力……北海道地方や東北地方に多く分布している。  
海上風力……風速が7.5m/s以上の大きなポテンシャルは北海道や、本州の太平洋側の一部といった地域に偏在

陸上風力の賦存量分布図



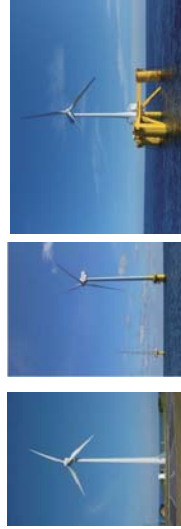
海上風力の導入ポテンシャル分布図



### S 2-4 風力発電の構造

陸上はタワー型構造となる。

海上風は陸上風と比べ風速が大きく、風の乱れが少なく安定しており、高さ方向にほぼ一律な風速分布であることから風力発電にとつては好条件である。



タワー型陸上風力発電

固定式海上風力発電

浮体式海上風力発電

水深が浅い沿岸域では**杭式海上風力発電**となり、水深が100m以上の海域は**浮体式波力発電**となる。浮体式波力発電の場合は、係留と送電線の建設コストが掛かる。

### S 2-5 風力発電の状況

世界の電力需要量の2.3%(2010年)であり、2013年末の風力発電の累計導入量は318.1 GWに達している。  
風力発電機メーカー市場のシェアは2009年時点でデンマークのVestas社12.5%で1位、米国のGE Energy社が12.4%で2位、中国の華銳風電(Sinovel)が9.2%、ドイツのEnercon社が8.5%、中国のGoldwind社が7.2%、スペインのGamesa社が6.7%と続いている。

順位	国名	容量(GW)
1	中国	91.4
2	米国	61.1
3	ドイツ	34.3
4	スペイン	23.0
5	インド	20.2
6	英国	10.5
7	イタリア	8.6
8	フランス	8.3
9	カナダ	7.8
10	デンマーク	4.8
-	その他	48.3
-	世界全体	318.1

GWEC(2013年)

### S 2-6 風力発電の課題

- (1)技術的課題……出力変動、強風対策など
- (2)生活環境への影響……騒音対策、低周波対策
- (3)生態系への影響……バードストライク(米国2.19羽/年、ドイツ0.5羽/年)
- (4)用地確保と事故

## 3 太陽光発電



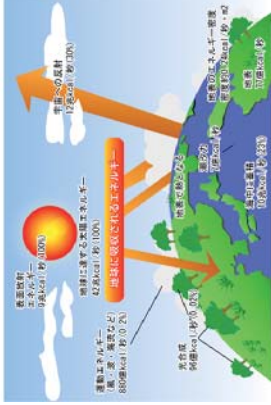
### S 3-1 地球に達する太陽エネルギーの収支

地球上に到達する太陽光のエネルギー量は1㎡当たり約1kwです。地球全体に降り注ぐ太陽エネルギーを100%変換できるとしたら、世界の年間消費エネルギーをわずかに1時間でまかなうことができるほど、巨大なエネルギーである。

**太陽定数: 1.37kW/m<sup>3</sup>(大気の外縁)**

### S 3-2 太陽光発電システム

太陽の光エネルギーを受けて太陽電池が発電した直流電力をパワーコンディンションにより、電力会社と同じ交流電力に変換し、家庭内のさまざまな家電製品に電力を供給する。  
余剰電力は、電力会社に売電することができる。



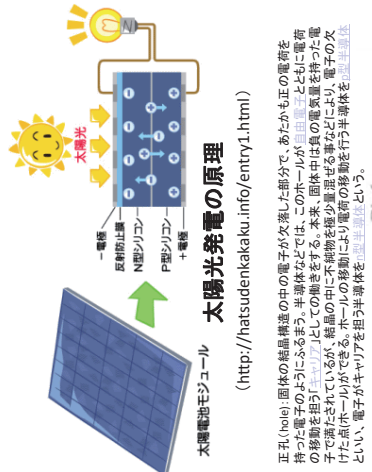
地球に達する太陽エネルギーの収支  
(<http://www.summertime.jp/cleanenergy.html>)



太陽光発電システム  
(<http://hatsudenkakaku.info/entry1.html>)

### S 3-3 太陽光発電の原理

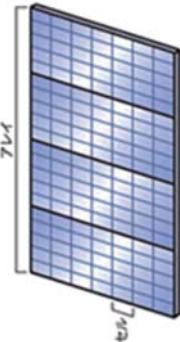
発ダイオード(LED)は、電流を流すと発光しますよね。  
太陽光発電はその逆であり、半導体に光を照射すると電流が発生する。という「光電効果」を利用している。  
N型シリコンとP型シリコンの接合面に太陽光が当たると、マイナスの電荷をもった電子とプラスの電荷をもった正孔が発生します。電子はn形半導体へ、正孔はp形半導体へ引き寄せられ光起電力が発生し電流を生ずる。



太陽光発電の原理  
(<http://hatsudenkakaku.info/entry1.html>)

### S 3-4 太陽電池の構成単位

セル(cell): 単体の太陽電池モジュール(module): セルを数十枚まとめたもの  
アレイ(array): 所定の電圧と電流を得るのに必要な数だけモジュールを直列や並列に接続して配列したもの



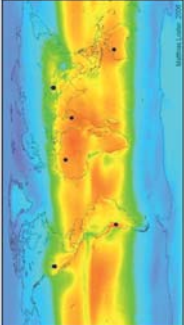
太陽電池の構成単位  
(<http://www.jpca.gr.jp/knowledge/solarbattery/index.html>)

### S 3-5 太陽光発電の資源量

【太陽エネルギーの資源量】  
・太陽から地球全体に照射されている光エネルギー  
⇒約180PW(P:ペタ):10の15乗)  
・地球上で実際に利用可能な量は ⇒約1PW  
・現在の人類のエネルギー消費量の約50倍である。  
・年間の日射量は、  
日本:約1200kWh/m<sup>2</sup>  
欧州:中部で約1000kWh/m<sup>2</sup>、南部で約1700kWh/m<sup>2</sup>  
赤道付近の国々:最大約2600kWh/m<sup>2</sup>

【原料の資源量】

- ・結晶シリコン太陽電池
- ・多結晶シリコン太陽電池
- ・薄膜シリコン(シランガス)
- ・CdTe太陽電池
- ・CIS系太陽電池
- ・セレン、碲化銅など
- ・銅、インジウム、ガリウム、ゲルマニウムなど
- ・III-V族太陽電池
- ・ガドリウム、テルル
- ・III-V族太陽電池
- ・有機薄膜太陽電池
- ・有機色素、チタンなど



地球上の太陽光エネルギー資源量の分布(1991-1993年の平均、昼夜の変化や天候の影響含む)  
資料: 18 TW/m<sup>2</sup>

太陽光発電の材料  
(2014年10月28日) 【単位: MW】

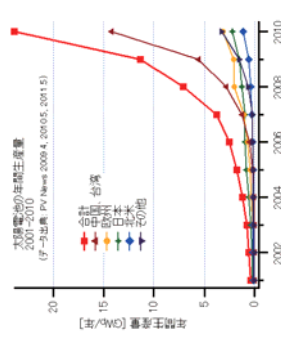
順位	国名	2014年	注
1	ドイツ	35,988.00	
2	中国	18,500.00	
3	アメリカ	17,600.00	
4	日本	15,645.00	
5	韓国	12,025.00	
6	スペイン	4,827.50	
7	フランス	4,632.00	
8	アメリカ	3,255.00	
9	ドイツ	2,988.00	
10	中国	2,970.00	
11	アメリカ	2,578.50	
12	中国	2,291.25	
13	中国	2,160.00	
14	中国	1,667.00	
15	中国	1,210.00	
16	中国	1,190.00	
17	アメリカ	918.00	
18	中国	740.00	
19	中国	722.00	
20	中国	704.00	
21	中国	580.00	
22	中国	532.00	
23	中国	524.00	
24	中国	510.00	
25	中国	476.00	
26	中国	460.00	
27	中国	400.00	
28	中国	373.00	
29	中国	330.00	
30	中国	150.00	
31	中国	110.00	
32	中国	6.91	
33	中国	19,946.90	

(<http://www.globabate.jp/post-3240.html>)

太陽光発電システムの生産に必要な原料も基本的に豊富であり、少なくとも2050年頃までに予測される需要は十分に満たせる。なお、シリコン系の原料は無尽蔵にある。

### S 3-6 太陽電池の生産量とシェア

- ・2010年の生産量は、23.9GWp
- ・世界全体の2010年の太陽光発電導入量は18.2GWpであり、総額が820億米ドル(約6.5兆円)である。
- ・地域シェアは中国台湾合計59%、欧州13%、日本9%、北米5%、他14%である。
- ・太陽電池セル製造メーカー上位3社  
Suntech(中国) 6.6%、Ja Solar(中国) 6.1%、First Solar(アメリカ、ドイツ、マレーシア) 5.9%
- ・日本メーカーはシャープ8位、京セラ10位



### S 3-7 太陽光発電の長所と短所

【長所】

- ・発電部(セル)に可動部分が無いので故障が起きにくい。
  - ・需要地の近くに設置でき、分散運用ができる。
  - ・発電時に廃棄物・排水・排気・騒音・振動が発生しない
  - ・他の発電方式と比較し設置制限が少なく、屋根や壁面に設置できる。
- 【短所】
- ・発電力量当たりのコスト(発電コスト)が他の発電方法より割高である。
  - ・夜間は発電せず、風間も天候等により発電量が大きく変動する。
  - ・配電系統へ連系する場合、交流への変換が必要となる。
  - ・規模を拡大しても発電効率が変わらない。
  - ・高温時に出力が落ちる。
  - ・影、汚れ、火山灰・降雪等で太陽光を遮蔽されると出力が落ちる。



扇島太陽光発電所  
(13,000kW)

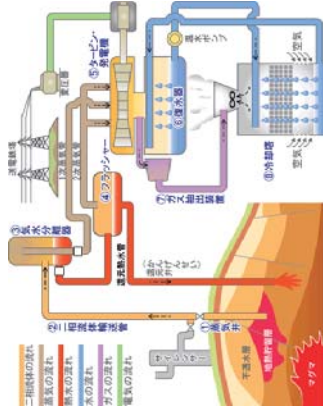
# 4 地熱発電

## § 4-1 地熱とは

- 地球内部で発生する天然放射性元素が崩壊する時の発生熱。  
(地熱の45～85%)
- 地球形成時に隕石が落下したときの衝撃および圧縮の熱。
- 過剰な重金属(鉄、ニッケル、銅)が地核に沈降していくときに放出される摩擦熱。
- 地磁気を作る電磁気的効果によって生み出されるジュール熱。
- 発生している総地熱量は約35TWと推定される。

## § 4-2 地熱発電の原理

地下700メートルから3,000メートルくらいの深い井戸(蒸気井)を掘って、地熱によって生成された水蒸気でタービンを回して発電する。残りの熱水は、ふたたび地下へ戻す。天候、季節、昼夜によらず安定した発電量を得られる。日本のような火山国においては大きなポテンシャルがある。



## § 4-3 地熱発電の発電方式

### (1) ドライスチーム

蒸気井から得られた蒸気がほとんど熱水を含まなければ、簡単な湿分除去を行うだけで蒸気タービンに送って発電する方式。

### (2) フラッシュサイクル

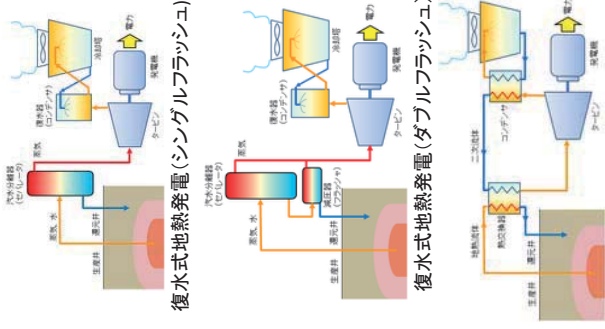
① シングルフラッシュサイクル  
蒸気に多くの熱水が含まれている場合、蒸気タービンに送る前に汽水分離器で蒸気だけを取り分けて蒸気タービンに送る方式。

### (3) バイナリーサイクル

② ダブルフラッシュサイクル  
蒸気を分離した後の熱水を減圧すれば、更に蒸気が得られる。この蒸気をタービンに投入すれば、設備は複雑となるが、15～25%前後の出力の向上及び地熱エネルギーの有効利用が可能となる。

### (3) バイナリーサイクル

温度や圧力が低いときと熱水しか得られない場合、アンモニア、ペンタン、フロンなど水よりも低沸点の熱媒体(低沸点流体)を、熱温水で沸騰させタービンを回して発電する方式。



地熱バイナリー発電

( <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%80%E7%86%B1%E7%99%BA%E9%9B%BB> )

## § 4-4 発電効率と発電コスト

### 【発電効率】

- 日本の地熱発電所の平均発電熱効率率は15～20%の範囲である。
- 発電量の4倍以上の熱が地上に放出される。
- 【発電コスト】

- 固定価格買い取り制度における買取価格は15MW未満(40円+税)、15MW以上(26円+税)
- 地熱発電の買い取り価格は、他の自然エネルギーと比べても高い。

## § 4-5 発電量と賦存量

- 日本における地熱発電の発電量は、2010年段階でおおよそ630MW
- 日本国内の地熱発電の埋蔵量は多く、約33GW
- (33,000MW)と見積もられる。
- 世界の地熱発電設備容量の合計は8878.5MW (2005年)
- 国別首位はアメリカ合衆国で、このうち約9割がカリフォルニア州に集中している。アメリカに次いで発電容量が多いのは火山国フィリピンである。フィリピンは国内に建設を進めていた基礎の原子力発電所を運転開始の直前になって断絶し、代わりに同じ発電設備容量の地熱発電所を建設した。フィリピンは国内総発電量の約4分の1を地熱でまかなう「地熱発電大国」である。

国	2015		2020	
	設備容量 (MW)	発電量 (GWh/year)	設備容量 (MW)	発電量 (GWh/year)
アメリカ	3098	16000	3700	18386
インドネシア	1340	9600	2289	15315
ケニア	594	2848	1193	9930
フィリピン	1870	9646	1918	9893
トルコ	397	3127	1549	8168
ニュージーランド	1005	7000	1064	7728
イタリヤ	916	5660	916	6100
アイスランド	665	5245	755	6010
メキシコ	1017	6071	1005.8	5375
日本	519	2687	550	2409
コストリカ	207	1511	282	1559
エルサルバドル	204	1442	204	1442
ニカラガ	159	492	159	492
ロシア	82	441	82	441
ホンジュラス	0	0	48	400
グアタマラ	52	237	52	237
ボリブガル	29	196	33	216
中国	27	150	34.89	174.6
ドミニカ	27	35	43	165
フランス	16	115	17	136
パプアニューギニア	50	402	11	87
クワタラ	0	0	10.5	70
エルドバフ	7.3	10	7.3	50
ハンガリー	0	0	3	5.3
台湾	0.1	1	0.3	2.6
オーストラリア	1.4	3.8	1.29	2.2
ベルギー	0	0	0	0.8
オーストラリア	1.1	0.5	0.62	1.7

( Gerald W. Hutter. "Geothermal Power Generation in the World 2015-2020 Update Report". International Geothermal Association (IGA) より )



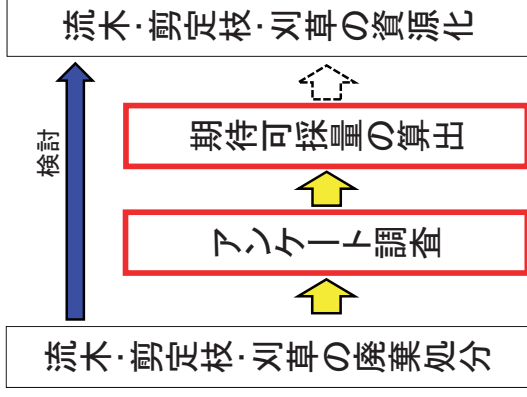




# 流木・剪定枝・刈草の賦存量調査

## 調査対象

- (1)平成12～16年度分  
全国の土木行政機関
- ・国土交通省の427事務所
  - ・47都道府県の土木関連部
- 「流木・剪定枝・刈草の処理量調査結果とその利活用について」  
(平成19年、田中博通、中部地整)
- (2)平成17～23年度分  
静岡県の土木行政機関
- ・中部地方整備局の静岡6事務所と管理所
  - ・静岡県内の17土木事務所



# 流木と剪定枝および刈草の処理に関するアンケート用紙

流木と剪定枝および刈草の処理に関する調査

注：①表中、回収金額と輸送費が分けられない場合は、合計金額を回収金額に記入して下さい。  
②回収方法は積立・肥料等の農産物利用・その他で記入して下さい。また、その最終処理に用いた処理金額を回収金額にご記入ください。  
③処理方法は積立・肥料等の農産物利用・その他で記入して下さい。

年度	処理した流木量及び処理金額一覽表			処理した剪定枝量及び処理金額一覽表			処理した草刈り量及び処理金額一覽表		
	全体数量(m <sup>3</sup> )	回収金額(円)	輸送費(円)	全体数量(m <sup>3</sup> )	回収金額(円)	輸送費(円)	全体数量(m <sup>3</sup> )	回収金額(円)	輸送費(円)
H17									
H18									
H20									
H21									
H22									
H23									
計									

## ③生物の養分の取り込み

- ・植物プランクトンやフコポリなどの海藻は10mm (0.01mm) 程度の細胞 (膜) を通して直接海水中の栄養素を取り込みしている。
- ・海中では、鉄以外の元素や化合物はほとんどが水中に溶解したイオンであり、イオンは細胞膜を容易に通過する。生物が生きるためには、水銀以外のすべての元素が必要になるが、鉄以外はすべて海では鉄はイオンではなく、粒子の状態で作成されている。そうして鉄は藻類、海藻に不可欠な元素であるにもかかわらず、大部分がこれらの細胞膜を通過できない大きな粒子である。

## ④鉄の取り込み (フルボ酸鉄)

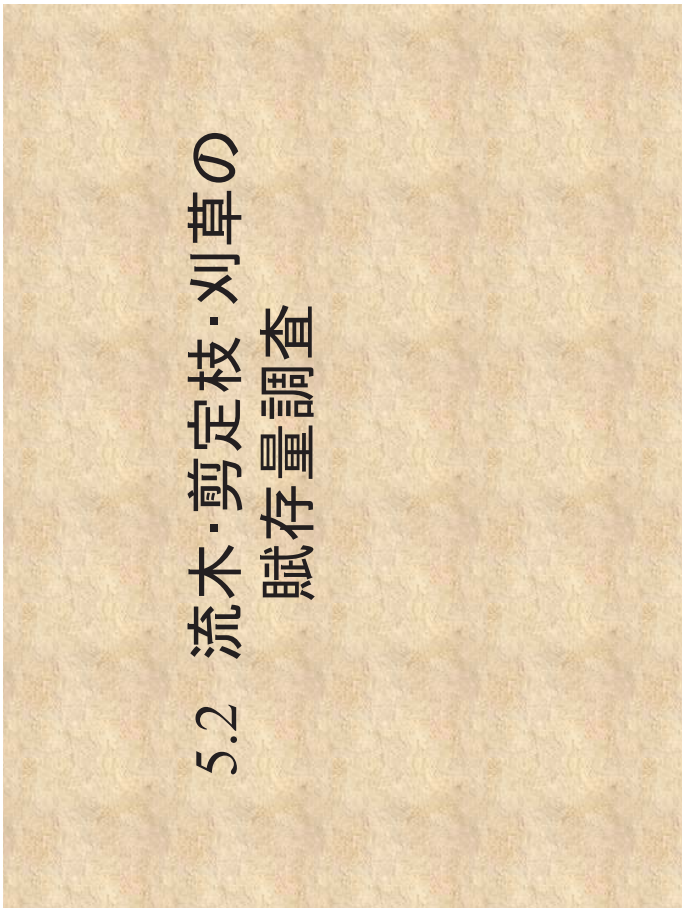
- ・腐植土層において、部分的に枯葉などの分解で酸素が消費され、酸素のない物質が形成される。ここで、酸素のないところでの鉄はイオンとして存在できる。
- ・腐植土層において枯葉などが分解される時、完全に分解されずとうと二酸化炭素と水になるが、バクテリアが分解しきれない有機物が残り、これが、水に溶けていく。この残った有機物が化学的、微生物的变化を受け、腐植物質という有機物ができ、腐植物質は水に溶けるフルボ酸と水に溶けないフミン酸に分けられる。フルボ酸はカルボキシル基 (-COOH) やカルボニル基 (-C=O) などを有しており、鉄など多くの金属を結びつける機能がある。無酸素状態で生成した鉄イオンはこのフルボ酸と結合する。
- ・フルボ酸と結合した鉄は森林から河川へ運ばれるが、河川では空気が、即ち酸素に触れることになる。鉄イオンの場合は鉄粒子に変わるが、フルボ酸鉄は一度結合してしまおうと極めて安定しており、腐植土層の鉄は枯葉にも含まれており、枯葉の分解により、腐植土中に再生される。針葉樹と広葉樹の単位重量当たりの鉄量は、一般に広葉樹のほうが針葉樹よりも一桁高い。



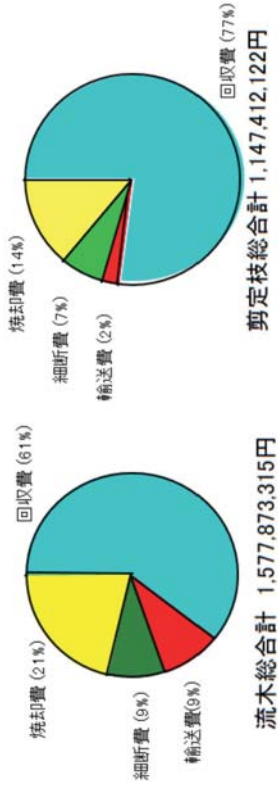
流木にはある程度の広葉樹が茂っていることが、持続可能な自然環境を維持する上で重要である。(自然植生)

森は海の恋人(富山重篤)

# 5.2 流木・剪定枝・刈草の賦存量調査

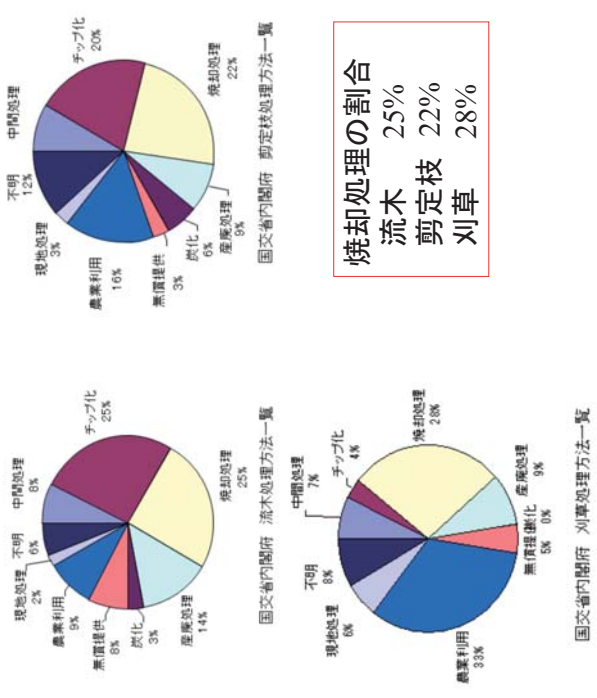


### 国土交通省と内閣府の流木、剪定枝、刈草の処理費内訳(年平均)



回収費の割合が高い。  
 ・焼却費の割合 21%  
 ・流木 14%  
 ・剪定枝 6%

### 国土交通省と内閣府の流木、剪定枝、刈草の処理方法



### 国土交通省・内閣府・都道府県の流木の処理に関するエネルギー賦存量と期待可採量一覧

都 道 府 県	回収数量 t/年	潜在賦存量 MJ(×10 <sup>3</sup> )/年	期待可採量	
			電力 kWh(×10 <sup>3</sup> )	熱 kWh(×10 <sup>3</sup> )
国土交通省-北海道開発局	5,217	34,586	2,404	3,846
国土交通省-東北地方整備局	6,291	41,701	2,898	4,637
国土交通省-北陸地方整備局	3,477	23,049	1,602	2,563
国土交通省-関東地方整備局	1,569	10,398	723	1,156
国土交通省-中部地方整備局	41,484	274,989	19,112	30,579
国土交通省-近畿地方整備局	1,092	7,238	503	805
国土交通省-中国地方整備局	5,573	36,945	2,568	4,108
国土交通省-四国地方整備局	4,224	27,998	1,946	3,113
国土交通省-九州地方整備局	2,735	18,127	1,260	2,016
国土交通省-小計	71,661	475,031	33,015	52,823
内閣府-沖繩総合事務局	32	213	15	24
都道府県	151,123	1,001,768	69,623	111,397
合計	222,817	1,477,011	102,652	164,244

流木の年平均回収量  
 国土交通省 71,693t/年  
 都道府県 151,123t/年

### 国土交通省・内閣府・都道府県の剪定枝の処理に関するエネルギー賦存量と期待可採量一覧

都 道 府 県	回収数量 t/年	潜在賦存量 MJ(×10 <sup>3</sup> )/年	期待可採量	
			電力 kWh(×10 <sup>3</sup> )	熱 kWh(×10 <sup>3</sup> )
国土交通省-北海道開発局	25	165	11	18
国土交通省-東北地方整備局	605	4,010	279	446
国土交通省-北陸地方整備局	257	1,707	119	190
国土交通省-関東地方整備局	1,431	9,485	659	1,055
国土交通省-中部地方整備局	451	2,990	208	332
国土交通省-近畿地方整備局	146	967	67	108
国土交通省-中国地方整備局	207	1,369	95	152
国土交通省-四国地方整備局	191	1,266	88	141
国土交通省-九州地方整備局	753	4,892	347	555
国土交通省-小計	4,066	26,952	1,873	2,997
内閣府-沖繩総合事務局	391	2,593	180	288
都道府県	27,977	185,452	12,889	20,622
合計	32,434	214,997	14,942	23,908

剪定枝の年平均回収量  
 国土交通省 4,457t/年  
 都道府県 27,977t/年

国土交通省・内閣府・都道府県の刈草に関する  
エネルギー賦存量と期待可採量一覧

部局名	回収数量	潜在賦存量	期待可採量	期待可採量
	t/年	MJ(×10 <sup>3</sup> )/年	電力 kWh(×10 <sup>3</sup> )	熱 kWh(×10 <sup>3</sup> )
国土交通省 北海道開発局	255,675	3,003,138	208,718	333,949
国土交通省 東北地方整備局	17,420	204,609	14,220	22,753
国土交通省 北陸地方整備局	118,038	1,386,463	96,359	154,175
国土交通省 関東地方整備局	10,190	119,695	8,319	13,310
国土交通省 中部地方整備局	24,537	288,203	20,030	32,048
国土交通省 近畿地方整備局	9,719	114,164	7,934	12,695
国土交通省 中国地方整備局	197,466	2,319,418	161,200	257,919
国土交通省 四国地方整備局	5,134	60,298	4,191	6,705
国土交通省 九州地方整備局	47,885	562,458	39,091	62,545
国土交通省 小計	686,065	8,058,447	560,062	896,099
内閣府 沖縄総合事務局	796	9,355	650	1,040
都道府県	167,672	1,969,459	136,877	219,004
合計	854,533	10,037,261	697,590	1,116,143

刈草の年平均回収量  
国土交通省 686,861t/年  
都道府県 167,672t/年

国土交通省・内閣府・都道府県の刈草に関する  
エネルギー賦存量と期待可採量一覧

平成12～16年度の年平均

- (電力) 発電効率25%、標準家庭の年間電力消費量:3,600kWh/年
- ・流木 .....102,652 × 10<sup>3</sup>kWh( 28,510 家庭分)
  - ・剪定枝..... 14,942 × 10<sup>3</sup>kWh( 4,150 家庭分)
  - ・刈草..... 697,590 × 10<sup>3</sup>kWh(193,780 家庭分)
  - ・全体..... 815,184 × 10<sup>3</sup>kWh(226,440 家庭分)
- (熱) 熱効率55%
- ・全体.....1,304,295 × 10<sup>3</sup>kWh(362,300 家庭分)

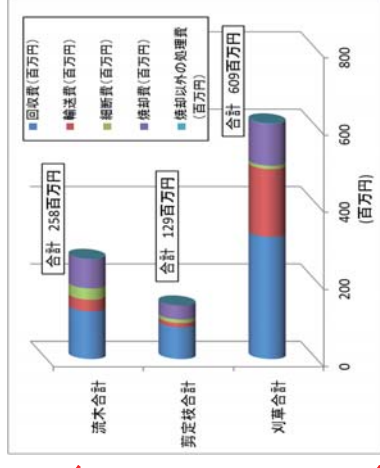
平成17～23年度分  
国土交通省(静岡県内)・静岡県の流木のエネルギー  
賦存量と期待可採量

発電効率20%、熱効率40%として

事務所	回収数量	エネルギー賦存量	期待可採量(電力)	期待可採量(熱)		
	t/年	MJ(×10 <sup>3</sup> )/年	kWh(×10 <sup>3</sup> )/年	kWh(×10 <sup>3</sup> )/年		
国土交通省 中部地方整備局	沼津河川国道事務所	889	5,896	328	656	
	静岡河川事務所	23,698	157,083	8,734	17,469	
	浜松河川国道事務所	455	3,016	168	335	
	長島ダム管理所	517	3,424	190	381	
	富士砂防事務所	240	1,591	88	177	
	小計	25,799	171,019	9,509	19,017	
	静岡県	下田土木事務所	30	198	11	22
		熱海土木事務所	68,604	454,761	25,285	50,369
		沼津土木事務所	829	5,496	306	611
		富士土木事務所	115	764	43	85
静岡土木事務所		563	3,731	207	415	
島田土木事務所		343	2,277	127	253	
袋井土木事務所		715	4,741	264	527	
浜松土木事務所		279	1,849	103	206	
太田川ダム建設事務所		59	393	22	44	
清水港管理高		116	771	43	86	
御前崎港管理事務所	65	432	24	48		
小計	71,719	475,412	26,433	52,866		
合計	97,518	646,431	35,942	71,883		

流木・剪定枝・刈草の賦存量調査結果  
静岡県内、平成17～23年度分

年間平均の処理費



- 流木**  
回収数量:97,518 t/年  
期待可採量(電気&熱):  
107,825(×10<sup>3</sup>kWh/年)→29,951世帯分
- 剪定枝**  
回収数量:6,648 t/年  
期待可採量(電気&熱):  
7,351(×10<sup>3</sup>kWh/年)→2,041世帯分
- 刈草**  
回収数量:63,535 t/年  
期待可採量(電気&熱):  
124,479(×10<sup>3</sup>kWh/年)→34,577世帯分

電・熱として有効利用した場合、年間11万tのCO<sub>2</sub>排出削減になる

## 持続可能な流域創造を目指して

- ・川の水質は、山の土壌成分に関係する。土壌水の水質は、山の植生と地質に関係する。
- ・沿岸域の水質は、流域の養分を集めて流出する河川水の水質に関係する。
- ・山・川・海（沿岸域）のあり方を問うならば、持続可能な物質循環となる国土を創造することである。

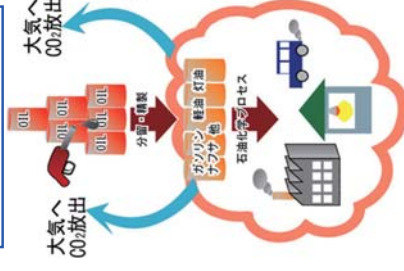
### 方策

- ・流域全体に落葉広葉樹を増やすとともに、里山は産業林・燃料林として活用する。
- ・燃料林は、電・熱利用と将来的にはバイオ燃料（BTL）、バイオマスブラスチックおよび水素の製造に利用する。
- ・燃料林は、10年以内で循環するなるべく自然植生である樹木を植林する。

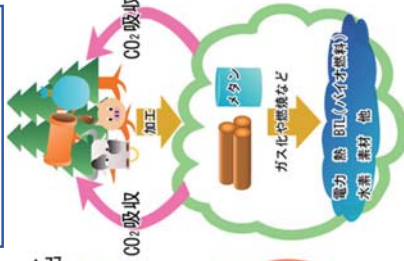
新規産業と雇用の創出

## オイルリファイナーからバイオリファイナーの社会へ

### オイルリファイナー



### バイオリファイナー



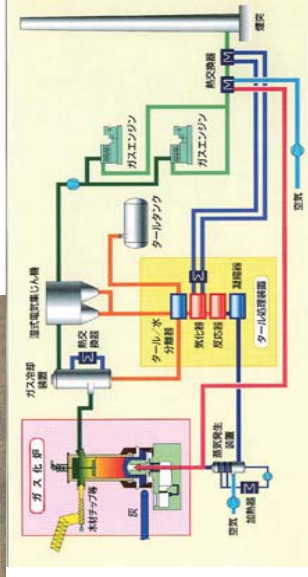
バイオリファイナー（Biorefinery）とは、再生可能資源であるバイオマスからバイオプロセスにより化学品・エネルギー等を生産する概念である。

- ・バイオリファイナーは、生活や産業を自然の循環として位置づけることになる。
- ・持続可能な国土を創造するためには、山の整備と木質バイオマスの利活用が重要となり、回収・輸送を含め土木業界と土木行政の果たす役割が大きい。

## Volund社Harboore（デンマーク）木質バイオマスガス化発電プラント

### プラント概要

場所: Denmark, Harboore  
稼働: 1993年, 電力 2000年  
能力: 45.2t/日  
熱供給量: 約2,600kW (90°Cの温水)  
電力供給: 約1,500kW  
効率: 電力 32%, 熱 55%, 計 約87%



## 5.3 木質バイオマスの利活用と木質バイオマスガス化発電装置 および各国の事例

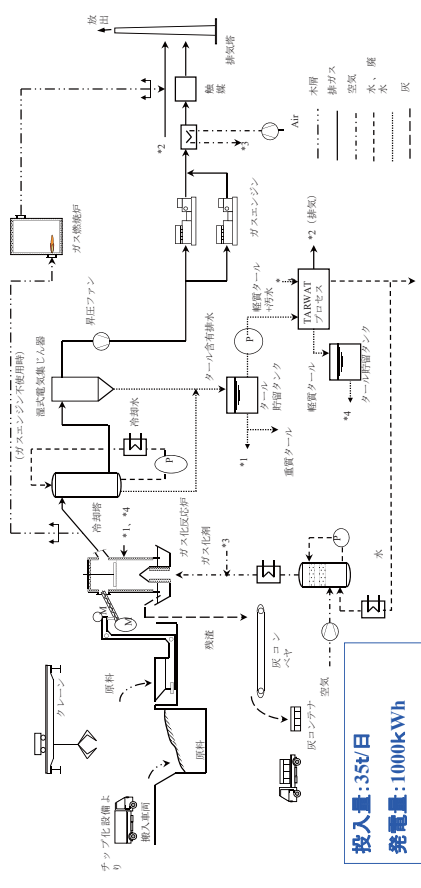
# Volund社Harboore木質バイオマスガス化発電プラント (2003年10月)



# Volund社Harboore木質バイオマスガス化発電プラント (2003年10月)



# 木質バイオマスガス化発電システムフロー(東海大学(案))



投入量: 35t/日  
 発電量: 1000kW/h  
 熱量: 1100kW/h

平成15年度 バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業調査 (NEDO)  
 「流木及び製材屑を燃料とした木質バイオマスガス化発電装置の実証試験事業調査」

# 木質バイオマスガス化発電のシステム

## Volund社 (デンマーク)

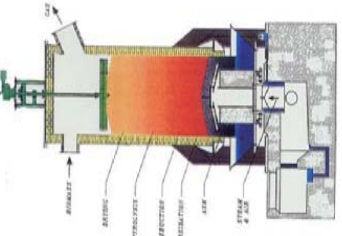
### 発生ガス成分

成分	含有率 wt% (dry)
H <sub>2</sub>	19.0
CO	23.0
CH <sub>4</sub>	5.3
CO <sub>2</sub>	12.0
N <sub>2</sub>	41.0

- 燃焼ガスとして、水素が19%、COが23%、CH<sub>4</sub>が12%である。
- 木質残渣は、投入量の約0.6%であり、その成分は窒素・リン・カリウム等を含み、草木の肥料として利用できる。

### 燃焼後残渣分析結果

単位	分析結果	規制値
%	37.4	
% (dry)	0.07	
	6.51	
	9.03	
	19.91	
	8.50	
	120	
	<0.5	<50
	<0.5	<5
	<0.05	<2
	52	<300
	51	<500
	<5	<100



### アップドラフト式

能力: 45.2tf/日  
 熱供給量: 約2,600kW (90°Cの温水)  
 電力供給: 約1,500kW  
 効率: 電力 32%, 熱 55%, 計 約87%

## 木質バイオマスガス化発電のシステム

Spanner社 (ドイツ)



輸出先 14ヶ国  
 導入台数 600台  
 構成 45kW/台～ 2MW 導入ベース  
 価格 7000万円/台

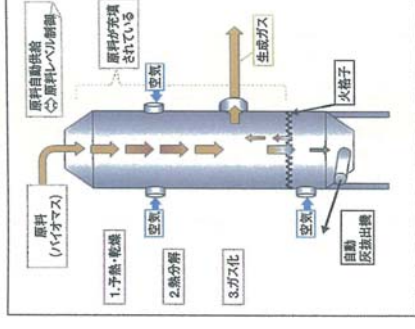


切削チップ、木質ペレット、丸太、大锯屑(オガクズ)、カンナ屑

## 木質バイオマスガス化発電のシステム

A.H.Pyrogas社 (ドイツ)

中外炉工業株式会社



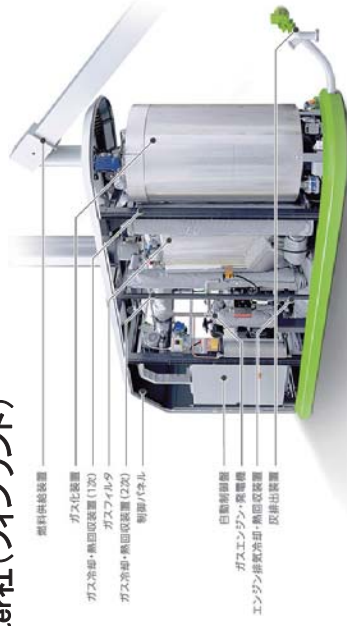
2段階ガス化式  
 450kW

外熱式多筒型キルン式  
 167kW



## 木質バイオマスガス化発電のシステム

Volter社 (フィンランド)



基本スペック  
 モデル Volter 40 Indoor  
 最大出力 (発電) 40kW  
 最大出力 (総量) 100kW  
 最大電出力範囲 30-100%  
 最大年間稼働時間 7,800時間  
 価格 6000万円/台

ユニット重量 約4,500Kg  
 機器重量・寸法  
 重量 4,500kg  
 長さ 4,823mm  
 高さ 2,500mm  
 幅 1,274mm

## 低カロリーガスエンジン

ガス成分 (Volund社)

成分	含有量wt%(dry)
H <sub>2</sub>	19.0
CO	23.0
CH <sub>4</sub>	5.3
CO <sub>2</sub>	12.0
N <sub>2</sub>	41.0

木質バイオガスはカロリーが低いため  
 低カロリーでも稼働するエンジン開発が  
 重要となる。



GE-Jenbacher社 (オーストリア) のガスエンジン  
 750kWで約1億円



MAN社 (ドイツ) のガスエンジン  
 420kWで約0.7億円



## R&Z (Germany, Radibor)

2012年6月26日



- ・村全体の電力と熱(暖房)を牛糞と木質チップで賄っている。
- ・すべて村にある会社の技術である。

## Spanner Re<sup>2</sup> GmbH (Germany)

Konrad Hübner, Niederfeldstraße 38, 84088 Neufahrn i. NB  
2016年7月4日-5日

世界14か国に500台輸出  
現在:1台/日 → 2016年:2台/日



Thomas Bleul ( Managing Director)



## STEAG New Energies GmbH (Germany, Dresden)

2012年6月26日



泥炭火力発電所を間伐材と建設廃材を燃料とする火力発電所に改良した。出力24MW



ガス化炉(チップ45kg/f/h)



各国へ輸出される装置



木質ガス熱電併給機(電力45kW)



EV (BMWと開発: 'powered by wood')

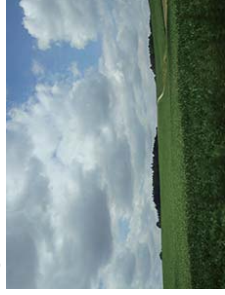
木質バイオマスガス化発電施設(1)(ドイツ) 2016年7月4日  
 Garten und Landschaftspflege Baumann (Kleinfeldstraße 33 84095 Furth)



間伐材や街路樹をチップにし、分別している



30kW~35kW発電し、売電と熱供給している



木質バイオマスガス化発電施設(3)(ドイツ) 2016年7月5日  
 PETER GRÖBMAYR GMBH(Glonn; Germany)



副町長が経営している製材所とコンピュータ制御の装置



製材材端材からのチップ



45kWの発電と100kWの熱を製造



25戸へ熱供給している配管図

木質バイオマスガス化発電施設(2)(ドイツ) 2016年7月5日  
 WBH ENGINEERING (Glonn; Germany)



自宅と会社



Wäslter Claydia(奥さん)



実にゆったりした所である



2010年と2014年に導入  
 ドイツの国の銀行が融資  
 10年でペイする。

Spanner社の45kW × 2台=90kWの電力と220kWの熱を19戸へ供給

木質バイオマスガス化発電施設(群馬県・川場村) 2017年12月1日



製材所



チップパー



チップ



木質バイオマスガス化発電全景 装置の内部



エンジンと発電機



CO<sub>2</sub>ボンベ



熱利用のイチゴハウス

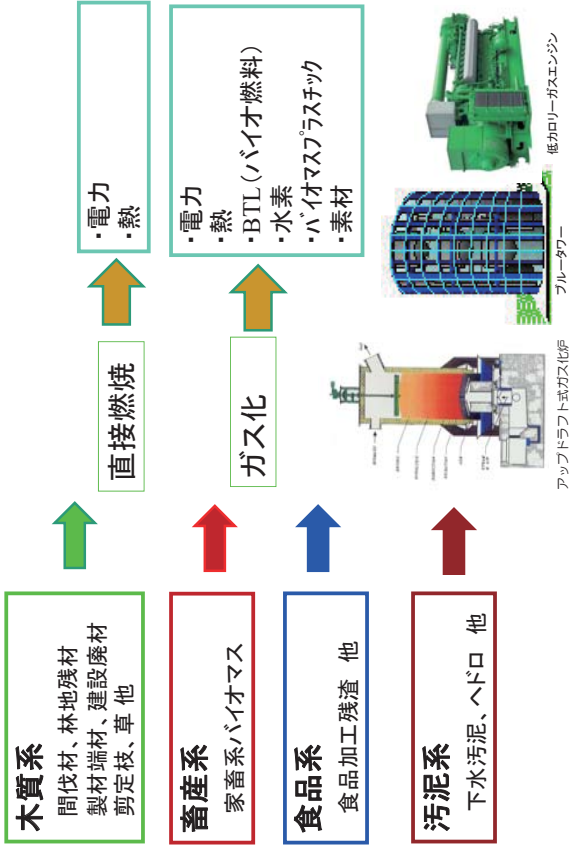
Spanner社の木質バイオマスガス化発電装置(45kW)  
 (川場村、東京農業大学、清水建設)  
 電力 → 売電(世田谷区民) 熱 → ハウス栽培(苺)

間伐材と建設廃材からBTL(バイオ燃料)の製造  
Beta plant – CarboV® in operation (2004)



2008年5月にはドイツのザクセン州フライベルク市に、イギリス・オランダ系メジャーであるロイヤル・ダッチ・シェルとドイツ自動車大手のダイムラー、フォルクスワーゲンなどが出資したコーレン・インダストリーズ社が未くずや廃材から発生させた木質バイオマスガスからバイオディーゼセル(BTL)を本格的に商業生産する製油所が稼動した。年間生産量は乗用車15,000台の年間消費量とされ、2020年までに精製施設を10から15か所に建設する計画である。

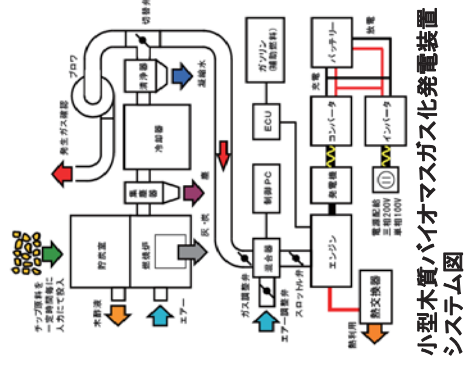
バイオマスの利活用



5.4 小型木質バイオマス  
発電装置の開発

小型木質バイオマスガス化発電装置の研究開発

(平成24-25年度 静岡県新エネルギー活用研究開発事業)



小型木質バイオマスガス化発電装置システム図

簡易型木質バイオマスガス化発電装置仕様	
原料処理量	20kg/h
発電能力	10kW
装置重量	2500kg以下
装置サイズ	車輛運搬可能
発生ガス熱量	4MJ/m <sup>3</sup>
連続運転	8時間/日



開発したダウンドラフト式木質バイオマスガス化発電装置

1000時間の連続運転を目標に、ガス清浄化のためにタール除去技術を研究開発した。⇒ **物理的にタール除去できなかつた。**

「第11回安倍川流木クリーンまつり  
(2013年11月17日)」で実演しました



今後の研究課題  
 ・ガスのクリーン化  
 ・操作性の向上  
 ・熱利用  
 ・コンテナ化

製品化



## 1. 研究背景

国土交通省と静岡県内にある17事業所の土木行政関連部署で2005年から2011年の過去7年間に回収、処理した流木、剪定枝、刈草について回収量と処理費の実績をアンケート方式で行った結果、流木、剪定枝、刈草の年平均回収量は、それぞれ97,518t、6,648t、63,535tであり木質系バイオマス全体では167,701tとなった。また、これら木質系バイオマスの年平均処理金額は合計997,175,806円となった。

さらに、流木、剪定枝、刈草の焼却処理の割合は、それぞれ46%、69%、64%と大きい。

なお、麻機遊水地で毎年行われている草刈「クレーン作戦」で発生する刈草の多くも焼却処分されている。

これら未利用の草木類を燃料として利用することが重要であると考える。



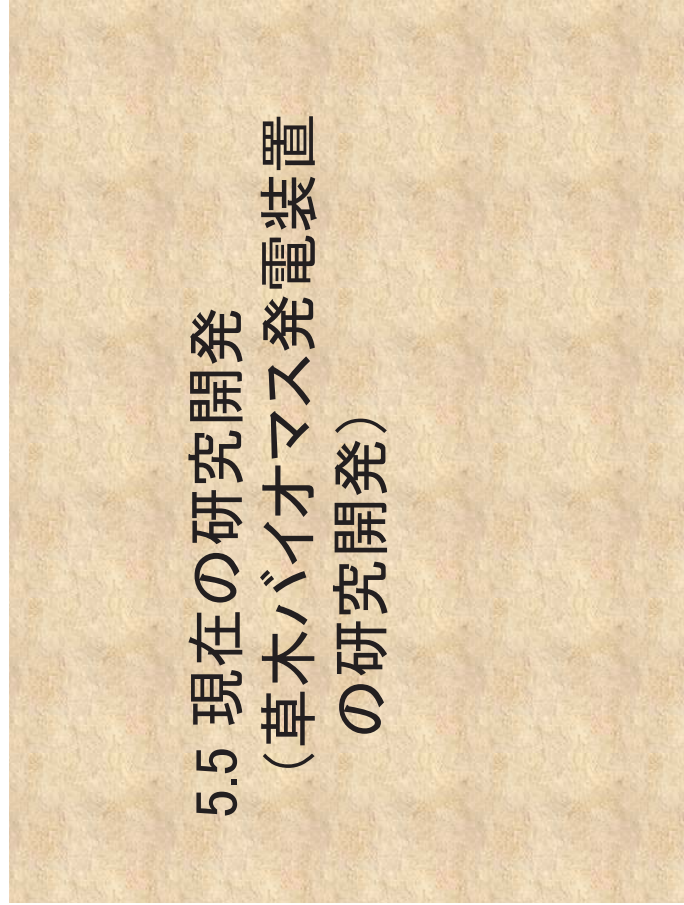
麻機遊水地の状況



狩野川の河道(伊豆市)



安倍川草刈りの様子



## 5.5 現在の研究開発 (草木バイオマス発電装置 の研究開発)

## 2. 研究結果及び成果

### (1) 含水率の推移

ブルーシートの上で乾燥させ、ほぼ平衡含水率になるまで気温、湿度と含水率を計測した。

安倍川の雑草は、屋外で自然乾燥した。

木質ペレット製造では、原料の含水率が最も重要なファクターである。電熱を問わずにペレット製に適する含水率を自然乾燥で実現できれば経済的である。

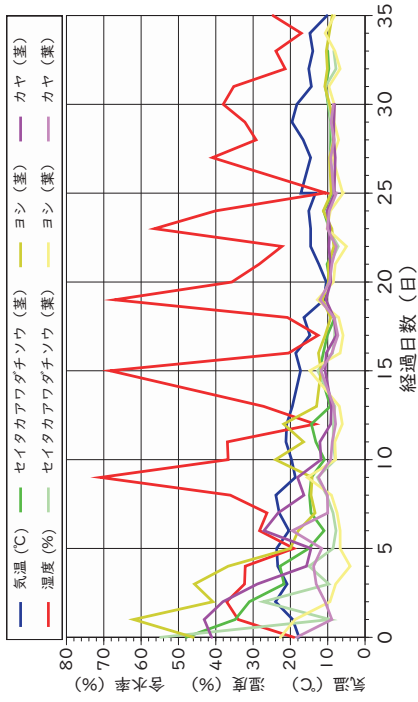


ヨシとセイタカアワダチソウの乾燥風景



搬入した雑草(安倍川)

## 含水率の推移



含水率は回収後2日で大きく減少し約2週間でペレット製造に適する含水率10%になることが分かった。  
 季節性もあるが、約2週間でペレット製造に適する含水率10%になることが分かった。

## (3) ペレット製造について

ペレット製造は、先ず雑草を粉碎機で粉砕し、静岡県工業技術研究所所有のペレタイザー(株式会社土佐テック)を使用してペレット化した。  
 ペレット製造にも適した含水率は10%前後とされている。原料となったカヤ、ヨシ、セイタカアワダチソウ、マツ葉、安倍川の雑草は、投入重量に対して、製造されたペレットの重量はその95%である。



草の破碎機



使用したペレタイザー



安倍川雑草から製造したペレット

### ペレット製造量と製造当日の含水率

草の種類	使用した草の重量 (kgf)		製造された重量 (kgf)		製造当日の含水率 (%)
	カヤ葉茎	カヤ葉茎花	ヨシ葉茎	ヨシ葉茎花	
カヤ葉茎	6.4	15.8	6.2	15.2	6.5
カヤ葉茎花	6.3	7.1	6.0	6.7	5.5
ヨシ葉茎	14.0	16.4	13.3	16.1	4.8
ヨシ葉茎花	50.8	38.2	47.9	37.4	5.1
セイタカアワダチソウ葉茎					8.3
セイタカアワダチソウ葉茎花					8.7
マツ葉					7.5
安倍川の雑草					12.9

## (2) 植物の成分分析結果

### 草と樹木の成分分析結果

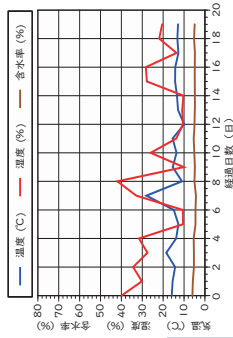
材料名	単位	スギ	ヤマギ	タケ	マツ葉	マツ葉 (葉)	マツ葉 (葉茎)	カヤ (茎)	カヤ (葉)	ヨシ	ヨシ (葉)	ヨシ (葉茎)	セイタカアワダチソウ	セイタカアワダチソウ (葉)	セイタカアワダチソウ (葉茎)	安倍川の雑草	検査方法
水分	%	11.60	42.10	40.30	59.90	18.90	10.00	27.40	14.00	10.00	8.80	10.00	8.80	10.00	8.80	10.00	JIS 8812
灰分	%	81.80	2.20	2.80	2.80	3.10	2.70	6.30	4.40	2.20	6.50	2.20	6.50	2.20	6.50	2.20	JIS 8812
揮発分	%	19300	18600	17800	17800	19900	18500	18500	17400	16700	18200	18200	18500	18500	18500	18500	JIS 8814 に準ずる
総発熱量	J/g	15600	9000	8900	6200	14400	14900	10800	12700	14800	15200	15200	15200	15200	15200	15200	JIS 8814 に準ずる
炭素	%	52.20	47.60	47.50	50.10	48.90	51.20	45.10	46.00	45.90	44.70	45.90	44.70	45.90	44.70	45.90	元素分析計 (ONS-CO-2)
窒素	%	5.80	5.10	5.80	6.90	6.70	7.10	6.70	6.70	6.30	5.90	6.30	5.90	6.30	5.90	6.30	元素分析計 (ONS-CO-2)
リン	%	0.40	0.90	0.40	1.40	1.10	1.10	0.30	1.00	1.70	0.70	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	元素分析計 (ONS-CO-2)
カルシウム	%	0.70	1.50	1.10	1.10	0.80	0.17	0.20	0.64	0.32	0.41	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	元素分析計 (ONS-CO-2)
マグネシウム	%	42.40	42.70	42.30	38.70	40.00	38.50	40.30	40.90	44.50	41.60	41.60	41.60	41.60	41.60	41.60	元素分析計 (ONS-CO-2)
酸化ナトリウム	%	1.40	0.62	1.50	1.20	1.30	0.17	0.96	1.50	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90	元素分析計 (ONS-CO-2)
酸化カリウム	%	2.00	4.10	5.20	9.10	0.64	5.50	52.00	22.00	43.00	8.30	8.30	8.30	8.30	8.30	8.30	元素分析計 (ONS-CO-2)
ナトリウム	%	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	元素分析計 (ONS-CO-2)
カルシウム	%	0.18	0.88	0.01	0.35	0.90	0.11	0.07	0.03	0.46	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	元素分析計 (ONS-CO-2)
マグネシウム	%	0.01	0.08	0.11	0.11	0.13	0.03	0.08	0.04	0.04	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	元素分析計 (ONS-CO-2)
マンガン	%	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	元素分析計 (ONS-CO-2)
ケイ素	%	0.01	0.01	0.01	0.03	0.06	1.90	1.90	2.50	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	元素分析計 (ONS-CO-2)

分析項目は、水分、灰分、揮発分、総発熱量、真発熱量、炭素、水素、窒素、硫黄、塩素、酸素、ナトリウム、酸化ナトリウム、カリウム、酸化カリウム、カルシウム、マグネシウム、鉄、マンガン、ケイ素である。  
 植物のケイ素成分は、樹木の約10倍多い。特に、イネ科の植物はケイ素が多い。

## (4) 草本系ペレットの含水率推移と発熱量

例として、カヤペレットの含水率の推移を示す。製造から1週間後のカヤ、ヨシ、セイタカアワダチソウ、マツ葉のペレットの含水率は、それぞれ4.5%、4.5%、6.5%、7.5%前後の値となった。特筆すべきことは、草本系ペレットの含水率は、気温、湿度の影響を受けず、ほぼ一定となった。他の草も同様な傾向となった。

ペレットの熱量分析結果を示す。ペレット化を行うことで原料に含まれる水分が減少し発熱量が増加している。安倍川の雑草ペレットの真発熱量はスギに匹敵する。



カヤペレットの含水率推移

### ペレットの熱量分析の結果

単位	カヤ (葉茎花)	カヤ (葉茎)	ヨシ (葉茎花)	ヨシ (葉茎)	セイタカアワダチソウ (葉茎花)	セイタカアワダチソウ (葉茎)	安倍川の雑草ペレット
水分	8.0	8.4	8.6	8.7	9.6	9.0	8.6
灰分	5.6	6.3	6.7	6.1	5.1	4.5	4.0
揮発分	74.5	74.6	73.5	72.8	73.3	83.4	74.0
総発熱量	18100	17800	17400	17400	18600	18100	20100
真発熱量	15200	14800	14400	14000	15900	14900	16800

(5)ペレットストーブを用いた燃焼実験と炎の温度測定

・ペレットストーブ(株式会社さいかい産業)を用いて製造したペレットの燃焼を試みた。

・測定位置は、炎の中心線の上中下の3か所とした。温度計測は、熱電対(Kタイプ)を使用した。

・ペレットの投入時間や投入量、残渣量、最高温度、最低温度、平均温度をそれぞれ測定しデータをまとめた。

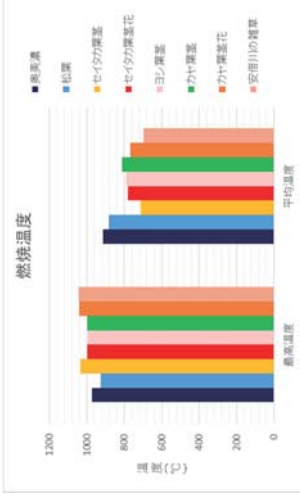
・奥美濃のペレットと草本系のペレットの燃焼温度(最高温度と平均温度)を示す。

・最高温度は、スギを原料とする奥美濃のペレットの950°Cを超え、草本系のどのペレットも約1000°Cとなった。

・しかし、平均温度は、奥美濃のペレットよりも若干低い値となった。



ペレットストーブを用いたペレット燃焼の様子



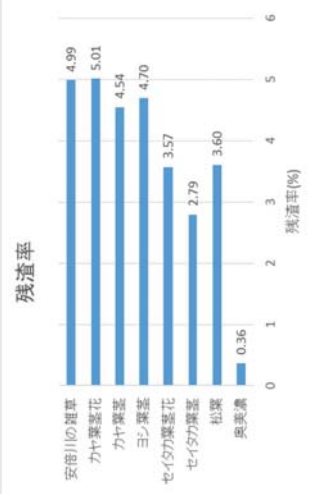
(6)ペレットの燃焼残渣

温度計測時に同時に求めたペレット投入量に対する燃焼残渣の重量割合である。奥美濃ホワイトペレットの残渣率が約0.36%であるのに対し、本研究で製造した草本系ペレットは約3~5%の残渣率であった。

特に、ケイ素を多く含むイネ科のカヤとヨシの残渣率は、セイタカアワダチソウと松葉よりも約2%大きいことがわかる。燃焼残渣の有効利用は今後の課題である。



安倍川雑草ペレットの燃焼残渣



(7)ペレットの燃焼残渣成分分析

・燃焼することによって灰分の成分が増加し、真発熱量が激減する。  
 ・燃焼によって、燃焼成分である酸素、水素、炭素が減少し、不燃成分であるカリウム、カルシウム、鉄、ケイ素の成分が増加する。

燃焼残渣の成分分析結果

試料名	単位	安倍川の雑草(燃焼前)	検査方法	安倍川の雑草(燃焼後)	検査方法
水分	%	8.80 JIS M 8812		1.70 国52環境第95号	
灰分	%	6.50 JIS M 8812		98.70 国52環境第95号	
揮発分	%	73.50 JIS M 8812		3.10 高分析 重量法	
総発熱量	kJ/kg	18500 JIS M 8814 に準ずる		2000未満 JIS M 8814 に準ずる	
固定発熱量	kJ/kg	15500 JIS M 8814 に準ずる		2000未満 JIS M 8814 に準ずる	
炭素	%	44.70 元素分析計 (CHNSコーダ)		5.80 元素分析計 (CHNSコーダ)	
酸素	%	5.90 元素分析計 (CHNSコーダ)		0.30 元素分析計 (CHNSコーダ)	
水素	%	1.10 元素分析計 (CHNSコーダ)		0.40 元素分析計 (CHNSコーダ)	
窒素	%	0.1未満 元素分析計 (CHNSコーダ)		0.40 元素分析計 (CHNSコーダ)	
炭素	%	0.19 燃焼ボレンス・イオンクロマト法		0.30 燃焼ボレンス・イオンクロマト法	
酸化カリウム	%	41.60 計算による		0.1未満 計算による	
酸化カルシウム	%	0.30 原子吸光法		0.31 IFC蛍光分析法および計算による	
酸化マグネシウム	%	0.45 原子吸光法		6.60 IFC蛍光分析法および計算による	
ナトリウム	%	0.01 原子吸光法		0.22 原子吸光法	
カルシウム	%	0.38 原子吸光法		4.30 原子吸光法	
マグネシウム	%	0.16 原子吸光法		1.40 原子吸光法	
鉄	%	0.13 原子吸光法		3.30 蛍光分光分析 (PF) 法	
マンガン	%	0.02 原子吸光法		0.15 蛍光分光分析 (PF) 法	
ケイ素	%	3.40 重量法		24.00 蛍光分光分析 (PF) 法	

備考：酸化カリウム・酸化カルシウムは灰化試料分析である。

・燃焼残渣の肥料成分と考えられる水分、窒素、リン酸、カリウム、石灰、炭素、炭素窒素比の分析と有害物質であるヒ素、カドミウム、水銀、ニッケル、全クロム、鉛、ダイオキシンについて分析を行った。  
**燃焼残渣は肥料として使用できる。また、ダイオキシンは発生していない。**  
 ・有害物質の基準値は、燃焼残渣の用途によって異なることから、燃焼残渣を利活用するときに基準値を調査して、積極的に燃焼残渣を利用することが肝要である。**有害物質は、基準値以下である。**

分析項目名	単位	安倍川の雑草ペレット	Volund社の木質ペレット オオマスガス化炉の残渣
水分含有量	%	0.3	37.4
窒素全量(T-N)	%	0.1 未満	0.07
リン酸全量	%	1.2	6.51
カリウム全量	%	2.7	9.03
石灰全量	%	5.2	19.91
有機炭素	%	3.5	8.50
炭素窒素比(C/N比)	-	測定不能*	120
ヒ素	mg/kg	1 未満	<0.5
カドミウム	mg/kg	0.2	<0.5
ニッケル	mg/kg	19	52
クロム	mg/kg	50 未満	51
鉛	mg/kg	3	<5
水銀	mg/kg	0.01 未満	<0.05

\* 窒素全量(T-N)が定量下限値未満のため、炭素窒素比(C/N比)を求めることが出来ず

### 3. 現状での進行状況

国補助金を原資とした静岡県創エネ・蓄エネ技術開発推進事業費補助金を得て、令和元年から令和3年度に研究開発をした。

#### 3-1 研究題目と研究開発内容

課題名：草木ペレット発電機の技術開発

河川や遊水地で発生し廃棄処分される刈草・伐木を燃料とした小型で安価な直接燃焼の草木バイオマス発電装置を研究開発している。この装置は、熱電供給システム(CHP)である。これにより、循環型社会の創造と新規産業の創出に寄与することを目的とする。

研究開発内容

- ・河川管理事業で発生した草と樹木を破砕して燃料を製造する。また、それらの特性(成分・熱量)の把握
- ・直接燃焼の小型草木バイオマス発電装置(14kW)の開発。
- ・燃焼残渣の肥料や建設資材等への活用を検討する。
- ・遠隔監視システムの構築。
- ・経済性を検討することにより事業化を図る。

共同申請者：リニューアブルエナジー・ジャパン(株)、コーケン工業(株)

#### 3-2 進捗状況

(1)雑草とヤナギの搬入  
令和3年度は静岡土木事務所から提供していただいた。

(2)雑草と樹木の破砕と乾燥  
マルチッパーで雑草、ウッドチップパーで樹木を長さ30mm程度に破砕した。  
破砕した後に10日間自然乾燥することによって含水率が約10%程度になる。

令和3年度は、ペレットの製造は行わない。なぜならば、ペレット製造に使うペレタイザーは、多くの電力を必要とする。  
よって、破砕した草と樹木を燃料として使用するために、燃料供給装置と燃焼炉及び燃焼残渣の排出機構を考えればよい。



マルチッパーによる草の破砕とその結果

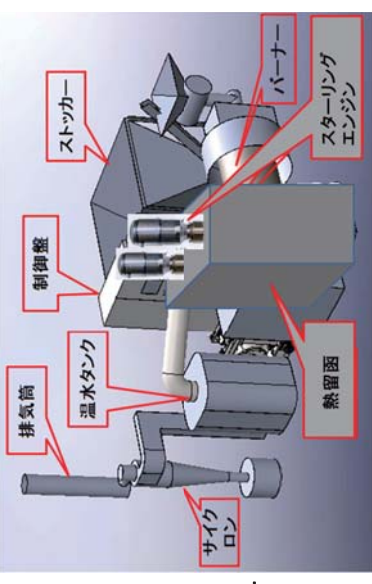


ウッドチップパーによる樹木の破砕とその結果

(3)破砕した雑草と樹木の熱量の分析  
破砕した雑草と樹木の水分、灰分、揮発分、総発熱量、真発熱量の熱量分析を行った。

(4)燃焼炉と発電システムの開発

今回開発する直接燃焼の草木バイオマス発電装置は、発電出力14kW、熱出力20kWのものである。

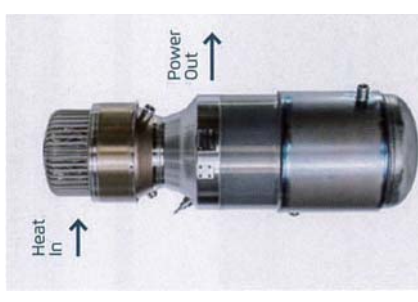


発電装置のシステム図

直接燃焼の場合、燃料の含水率の管理が比較的容易であり、発電出力が発電機1台当たり10kW以下であると操作する資格も必要なくなり、誰でも使用することが可能。  
現在開発している草木バイオマス発電装置は、燃料供給システム、燃焼炉(パーナー)、スターリングエンジン、温水製造システムで構成された小型草木バイオマス発電装置である。

今年度は、陶長岡鉄工所が燃焼炉、熱留缶と温水タンクを製造している。スターリングエンジン(SE)は定格出力7.1kWのQnergy社(米国)を2台使用する。このSEは、700°C以上であればどのような熱源でも稼働し、高い発電効率と静粛な作動、60,000時間以上の稼働が保障される特徴があり、ヒーター管に特殊合金を使用しているため1,000°C以上の高温にも耐久性がある。

また、ブラックスターターがバッテリーで可能である。  
発電原理は、SEのヒーター管を熱留缶内に挿入し、ヒーター管内に熱媒体として充填されているHeガスが膨張する。それを冷却水で冷やすことによりHeガスが収縮し、その温度差とヒーター管に接触する流速によってトルクを発生させ発電する方式である。



スターリングエンジン(Qnergy製)



草木バイオマス発電装置の全景

## 持続可能な自然環境と社会システムの創造

### ①林地の保全

間伐時等に排出される材を利用したエネルギー活用システムを構築することが可能となる。林地からのバイオマスの搬出システムを段階的に拡大することが可能となる。

### ②山地の作業の電源

山地で行う林業と建設業の事業と工事の電源として利用できる。

### ③農業（ビニールハウス、食物工場）での利用

林地残材、製材端材を活用することによって、ビニールハウスの電熱利用として利用できる。電熱を利用し、食物工場の事業を展開することができ、新規産業が創出される。

### ④施設での利用拡大

温泉施設や山間にある旅館等において、電力と熱（暖房、冷房）を得ることで現状のコストを削減することができる。

### ⑤林地や災害時における利用

山間地での作業や災害時の緊急電源としても利用することができる。

### ⑥流木等の利活用

流木等の木質資源を燃料として利活用することによって土木行政が管理している道路、トンネル、ダム等の照明の電力として利用できる。

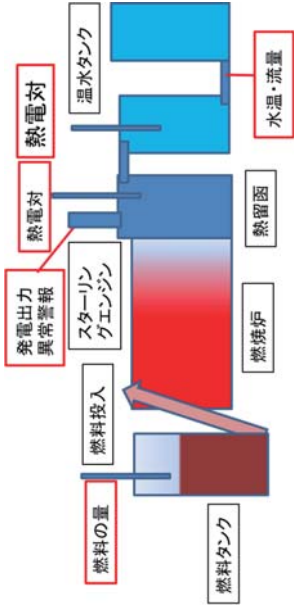
CO<sub>2</sub>排出削減、山林と里山の整備に貢献する。ミネラルや栄養塩などの物質循環が豊かな持続可能な自然環境を創造し、新たな雇用創出により持続可能な社会システムの創造をもたらすことになる。



小型木質バイオマスの利活用と事業化

(5)発電量と発熱量の算定  
燃料の投入量に対する発電量と温水の製造量を計測し、エネルギー収支を求めていく。

(6)遠隔監視システムの構築  
小型バイオマス発電装置を自動運転とするため、燃料の貯蔵量、炉内温度、発電量、温水の温度、異常警報を遠隔モニターできるシステムを開発している。



遠隔監視システム

(7)燃焼残渣の割合と成分分析  
燃焼残渣の肥料等への有効利用を考えることから、クリンカが生じる。このクリンカの結晶形状を確認してから構造物製品への利活用を検討する。



燃焼残渣



クリンカ

(8)経済性の検討  
草木ペレット製造と発電および熱利用を総合的に考慮して経済性を検討する。

## 燃料林構想



簡易型木質バイオマスの発電装置利活用イメージ図



## 内村鑑三が大正13年(1924)7月17日、『国民新聞』に投じた一文



内村鑑三(1861-1930)

### 「樹を植えよ」

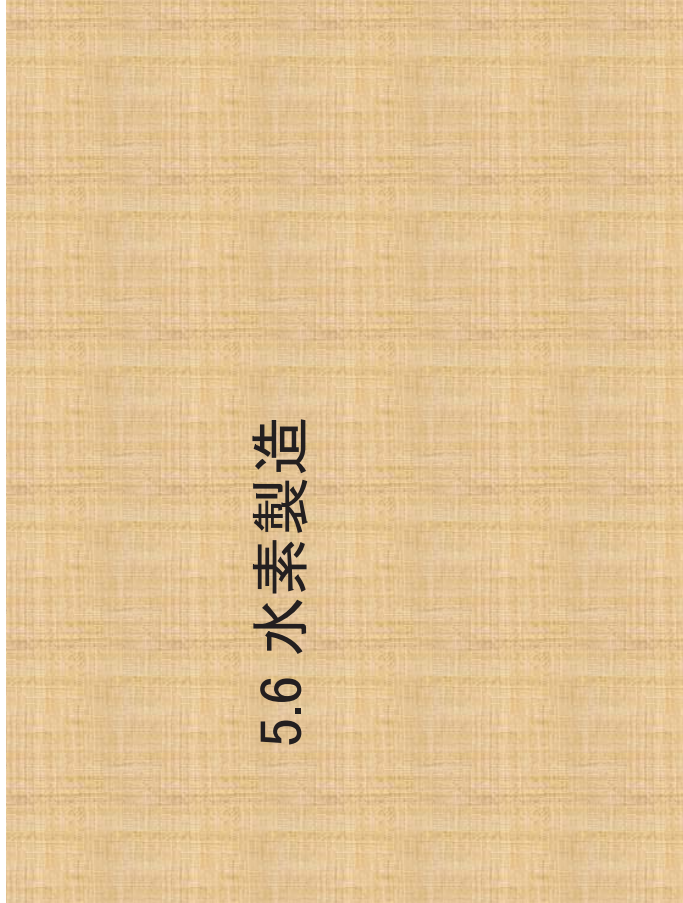
國を興さんと欲せば樹を植えよ、  
 樹林これ國である。  
 山林は木村を供し、氣味を緩和し、洪水を防止し、田野を肥し百利ありて一事なし。  
 爾(おれ)も、もし日本の山野を擁(おお)うに樹林をもつてすれば、これより生ずる利益に由(よ)りて  
 民より租税を徴することなくして  
 その政府を維持するを得(と)べし、と。

今や日本はその樹友たりし米國よりすら排斥せられて  
 外に歸するの途は当分絶えたりといふも差支(さしつか)えなし。  
 この樹にあつて内を闊朗して新たに樹土を植すの必要がある。  
 そしてその方法としてもちつとも容易なるは  
 國內いたるところに存する赤(は)け山に種うるに樹をもつてすることである。

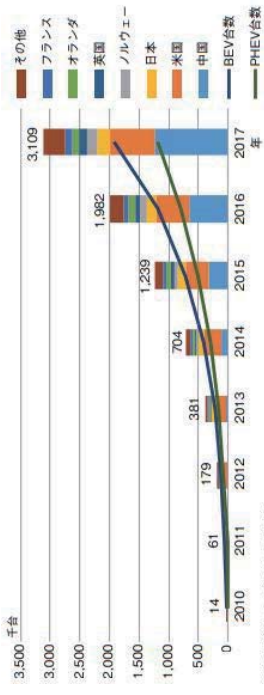
小なるデンマーク國はプロシヤと戦いて敗れ、  
 その樹土の半ば奪われしも  
 國內の荒地に樹林を失ひし以上の實を得た。  
 亂暴野蠻はかくのごとくに表現すべしである。  
 このよ、不義不禮を購るも益はない。  
 價値を有利的に我わさんがために私は學國一致の樹林を植する。

文部省はよろしく樹林日(Arbor Day)を定め、  
 一年に一日、全國の小学校生徒をして、  
 一人一本ずつの苗木を植えしむべし。  
 これは上杉鷹山(しやうざん)が米沢の邊地を化して東北第一の沃土となした方法である。  
 わがらは日本全國を購奪(した)る萊國(ハラダイス)に化して  
 全世界の強兵に恥する事があるのである。  
 義経刺殺運動にべしといふことも忘れざるべからざるは農の國本たることである。  
 そして農の本元は樹林である。  
 山に樹が茂りて國は栄ゆるのである。

## 5.6 水素製造



## 世界全体のEVの保有台数



出所: IEA, Global EV Outlook 2018

### 電気自動車 (BEV+PHEV) 国別普及実績推移

(出典: JOGMEC)

- ・2020年 1位: 中国(451万台)、2位: 欧州(316万台)、3位: 米国(178万台)
- ・保有台数の予測(世界全体) 20年(約1460万台)、25年(約5172万台)、30年(約1億4500万台)
- ・IEAによると、2040年の石油需要が104.9mb/d、2.5mb/dがEVで代替

### 【EVの燃費】

- ・電気代: 30円/kWh、30kWhのバッテリー→80%充電で720円となる。
- ・280km走行で2.6円/kmとなる。⇒ EVの燃費は安い

### 【必要な電力量】

- ・日本の自動車保有台数は現在約8000万台。このうち50%がEVになったとすると、年間の平均走行距離を5000kmとした場合、1年で約20回の充電が発生する。平均すると、1時間で9万台が充電している計算となる。
- ・平均でも270万kW(浜岡原発5号機(定格出力1,380MW)クラスの原子力発電所約2基分)の電力消費がEVの充電で行われることになる。
- ・これでは新たな発電所を建設しなければならぬ。

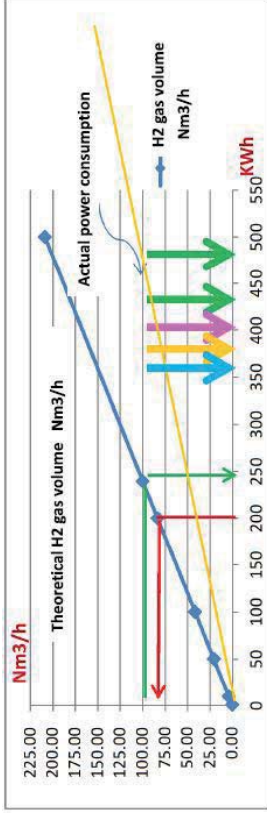
### 【わが国の電力事情】

- ・一次エネルギーの化石燃料依存度は85.5%(2018年度)。(石炭: 25.1%、石油: 37.6%、LNG: 22.9%)  
 (資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」より)
- ・EVを増やしてもCO<sub>2</sub>削減とならない。
- ・燃料電池自動車(FCEV)の割合を増やす。
- ・そのためには、再生可能エネルギーから水素製造する。

## デノ・ペルメレック株式会社(イタリアを本社とする電極会社)の見解

### 電気分解による水素製造の理論値

水素100Nm<sup>3</sup>/h ⇔ 約240kWh  
 プラントでの実状は、約500kWhで100Nm<sup>3</sup>/h  
 (電解槽だけに要する電力である熱交換器やプロセス循環ポンプなどは含まれていない。これらは電解槽の電力の10%以下程度である。)



電力と発生水素量の関係

### 【水素製造のコスト】

アルカリ水電解(AWE)のプラントは、100Nm<sup>3</sup>/hの規模で、現在1億円~1.5億円である。  
 現在アルカリ水電解では、8kA/m<sup>2</sup>(0.8A/cm<sup>2</sup>)の運転電流密度がMax.であるが、10~15 kA/m<sup>2</sup>(1~1.5A/cm<sup>2</sup>)の高電流密度運転を可能にすることで、自動的にセルエレメント数を削減することができ価格低減が出来る。  
 200Nm<sup>3</sup>/h規模ですと、AWEの方が固体高分子形水電解(PEM)より安価となる。

### 【水素の純度】

実績としては、99.96%以上を達成。(電流密度6kA/m<sup>2</sup>)(高純度化は可能)

### 【貯蔵方法】

保安法に該当しない10bar(10<sup>6</sup>Pa)以下で取扱うことが一般的である。液体で貯蔵が高圧ガス体で貯蔵かの2方法がある。

## 燃料電池車の燃費

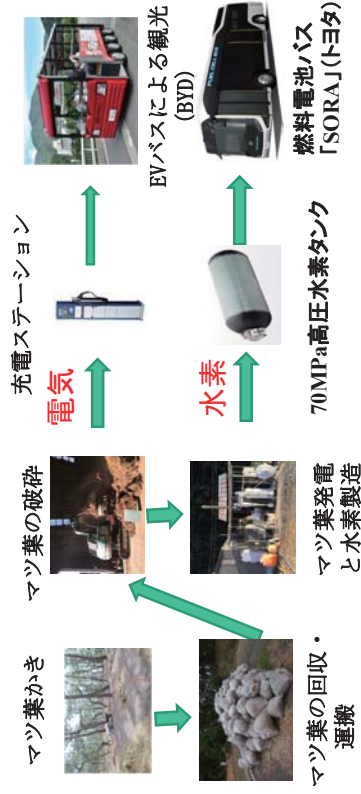
比較項目	ホンダクラリティフューエルセル	トヨタ MIRAI
航続距離	750km	650km
水素充填圧力	70Mpa(約700気圧)	70Mpa(約700気圧)
充填時間	3分	3分

## 水素とガソリンの比較

比較項目	水素	ガソリン
価格	110~150円/Nm <sup>3</sup>	140~170円/L
距離あたりの燃費	10~14円/km(目安)	14~17円/km(目安)
提供施設	水素ステーション	ガソリンスタンド
設置場所	実験的にごく一部	全国各地に多数

燃料電池. netより (<https://xn--qevu4m0e768b.net/fcv/nenpi.html>)

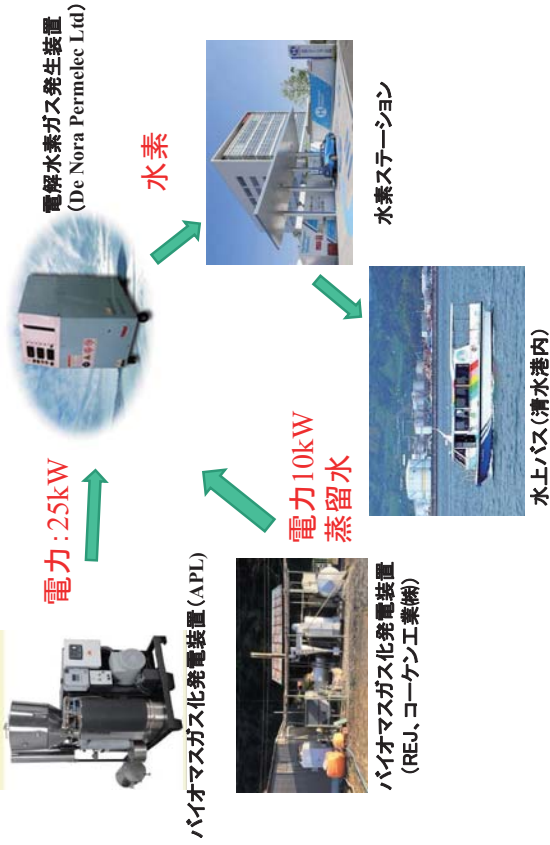
## マツ葉を利用した発電と水素製造及び三保周遊への適用



- 三保半島周遊観光
- 三保の歴史の学習
- 三保半島の特産物の購入

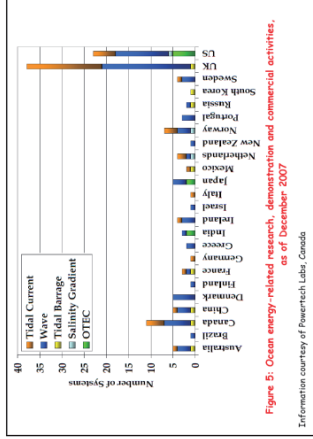
持続可能な新たな産業と雇用が創出される。

# 草木を利用した発電と水素製造及び水上バスへの適用

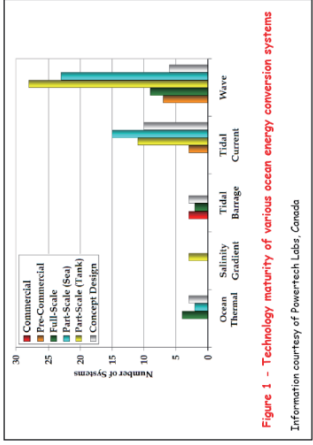


# 海洋エネルギー発電の世界の状況

海洋エネルギー発電の国別件数



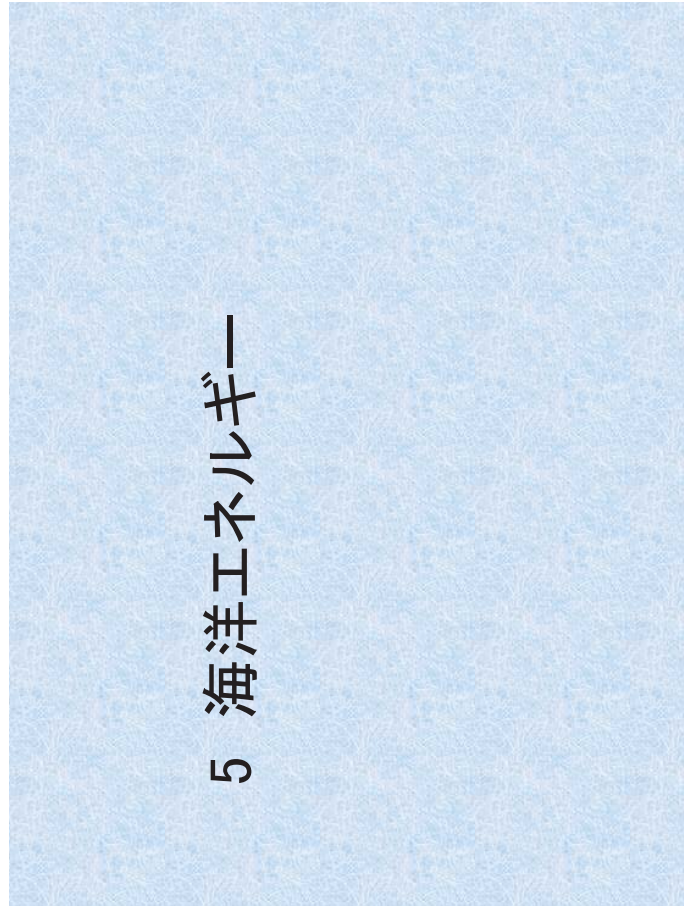
海洋エネルギー発電の種類別件数



(An IEA OPEN Energy Technology Bulletin Article Issue No. 52, July 2008)

- ・イギリスとアメリカが多い。
- ・日本は5件となっている。

- ・波力、潮流が多い。
- ・実用化は世界でも数件である。



# 5 海洋エネルギー

## (1) 潮汐発電

国名	場所名	完成年	平均潮位差 (m)	ダムの長さ (km)	最大出力 (kW)
フランス	ランス	1967	8.5	0.75	240,000
ロシア	セバーン湾	1968	2.8	3.6	400
イギリス	マーセイ河	-	8.3	1.9	4,000,000
カナダ	ファンタイ湾	1984	8.4	1.2	700,000
アメリカ	ハーフムン湾	-	10.1	-	1,000,000
中国	江厦	1981	5.5	0.7	0,003
韓国	始華湖	2011	5.6	12.7	254,000
韓国	仁川湾	2017	5.6	20	1,320,000

ランス (Rance) 潮汐発電所 (フランス)



<http://www.ship.nias.ac.jp/project/ikegami4.htm>

- 発電方式: 単貯水池式, 1潮期間に2回発電 (複動式)
- 発電機: 10MWの水車発電機を24台 → 最大出力240MW

始華湖 (Sihwa) 潮汐発電所 (韓国)



<http://www.ong.ca/docs/May%20Symposium/KOREA.pdf>

- 発電方式: 単貯水池式 (満ち潮時に発電)
- 発電機: 25MWの水車発電機を10台 → 発電設備容量240MW

日本最大である有明海の干満差は、湾奥の大浦港 (佐賀県太良町) で平均5m、最大約6mである。

→ 適地でない

## (2) 海流・潮流発電

海上保安試験研究センター(1999年～2002)



総発電量  
171,382W/年  
日平均発電量 469.5W/日

Hammerfest Strom社



(<http://www.hammerfeststrom.com/>)

Marine Current Turbines Ltd.



(<http://www.marineturbines.com/>)

潮流が流れる断面積を  $A[m^2]$ 、流速を  $v[m/s]$ 、流体の密度を  $\rho[kg/m^3]$  とすると、流れのパワー(P)は次式となる。

$$P = \rho \cdot A \cdot v^3 / 2 [kW]$$

流れの断面積が同じである場合、海水と空気と同じパワーとなる流速比は、海水と空気の密度をそれぞれ  $1025 kg/m^3$ 、 $1.293 kg/m^3$  とすると、**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

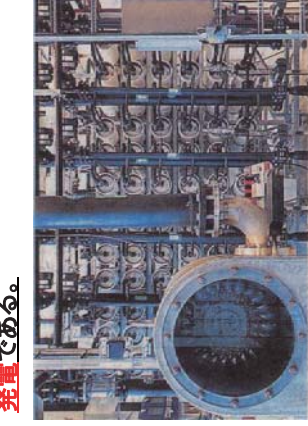
HS300: 300kW

HS1000: 1MW

EMEC tidal test site で実験中

## (4) 塩分濃度差発電

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濃度を通さなで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。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が浸透膜発電である。

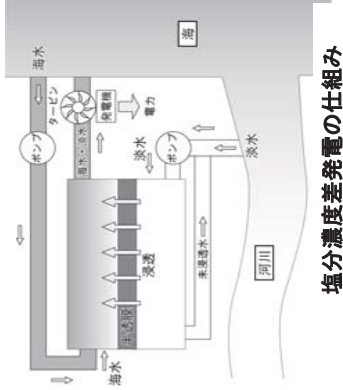


(朝日新聞2009年12月1日)

ノルウェー・スタットクラフト社(電力会社)の浸透圧発電所

2~4kW(2000m<sup>2</sup>)

2015年に25,000kW(1万世帯分)

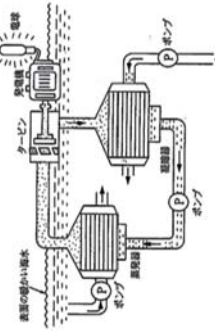


塩分濃度差発電の仕組み

イオン交換膜で淡水と海水のイオン濃度差を濃淡置位差として直接電気エネルギーを得る方式が濃淡置位法による濃度差発電である。

## (3) 海洋温度差発電

海面の温かい海水と深層の冷たい海水との温度差を利用して発電するもの。蒸発器、タービン、凝縮器、作動流体ポンプ、温海水ポンプ、冷海水ポンプから構成。温度差が重要



海洋温度差発電の仕組み



上原サイクル(佐賀大学)



海洋温度差発電(久米島)

## (5) 洋上風力発電

水深が浅い沿岸域では杭式洋上風力発電となり、水深が100m以上の海域は浮体式洋上風力発電となる。浮体式洋上風力発電の場合は、係留と送電線の建設コストが掛かる。



(<http://www.kajima.co.jp/news/press/20130227c1-j.htm>)

杭式洋上風力発電



(<http://www.nippon.com/ja/views/001506/>)

浮体式洋上風力発電

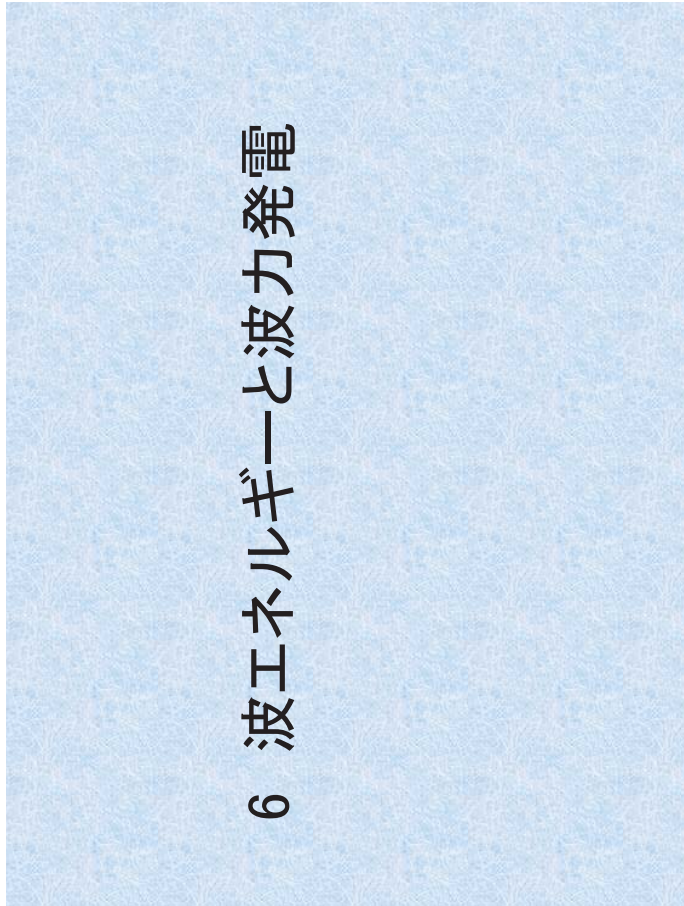


(<http://www.londonair.com/media-centre/image-library/offshore/>)

洋上風力発電(ロンドンアレイス社, イギリス)

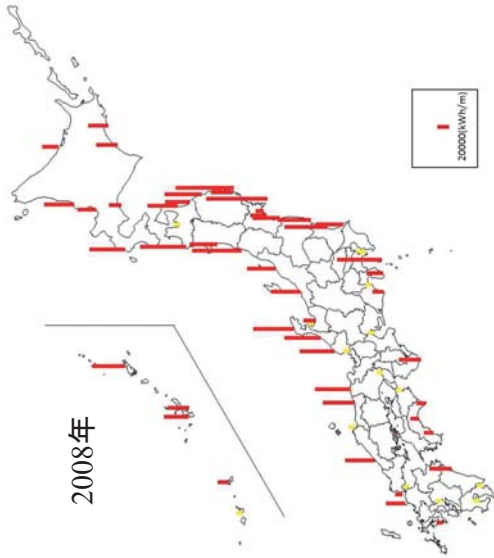
イギリス南東部沖合に175基(1基当たり出力3,600kW)の世界最大のウインドファームが2013年7月に完成した。総出力は63万kWで50万世帯に電力を供給する。

# 6 波エネルギーと波力発電



## わが国沿岸の年間波エネルギー

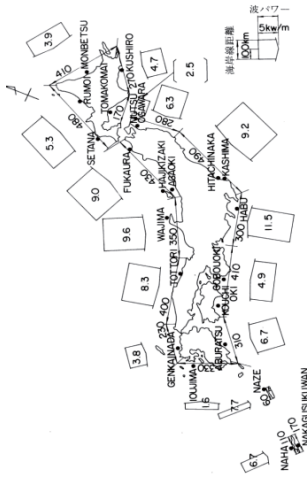
NOWPHAS(全国港湾海洋波浪情報網)の各観測点における年間の波エネルギーの算出を行った。



- ・波エネルギーが10 MWh/mを超えている地点が東北地方と日本海側に多い
- ・日本全国63観測地点における年間発電量は300 MWh/m
- ・ただし、この数値は1m当たりのものであるため波力発電装置の幅に比例するため膨大な電力量となる。

## 波エネルギーの分布

日本に襲来する波エネルギーは、直線5200kmの折れ線で囲むと全体として約3120万kWで、1m当たり約6kWのパワーとなる。  
(高橋重雄, 安達崇: 日本周辺の波パワーとその利用に関する一考察, 海岸工学論文集, 第36巻, pp.874-878, 1989.)

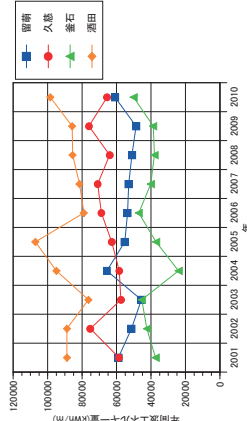


欧州での海洋エネルギー利用技術の開発は、欧州委員会の地球温暖化対策としての再生可能エネルギーの利用を基本とした政策に支えられ、様々なタイプの波力発電が開発され、地域の送配電網への接続が実現している。  
特に、イギリス(スコットランド)、ポルトガル、デンマーク、アメリカで研究開発が盛んである。



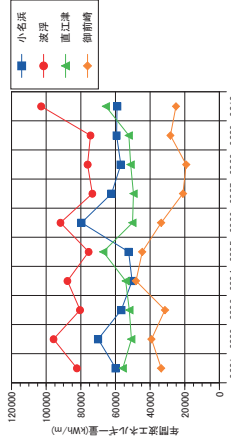
(Duckers, L.Oxford University Press, 1996)

## 各地の年間波パワーと年間発電量



年間平均波エネルギー  
留萌:54MWh/m  
久慈:66MWh/m  
釜石:40MWh/m  
酒田:89MWh/m  
発電効率 15%  
稼働率 95%

発電量  
留萌:7.8MWh/m/年  
久慈:9.4MWh/m/年  
釜石:5.7MWh/m/年  
酒田:1.3MWh/m/年



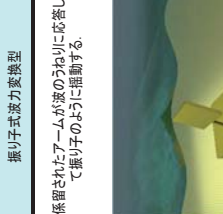
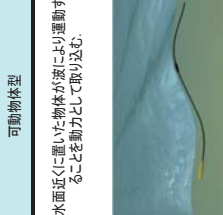

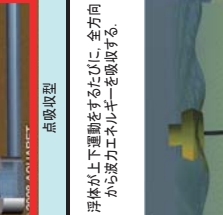
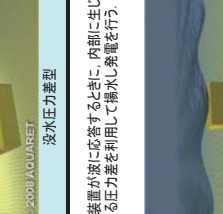
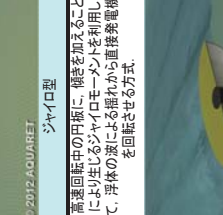


年間平均波エネルギー  
小名浜:60MWh/m  
波浮:84MWh/m  
直江津:54MWh/m  
御前崎:32MWh/m  
発電効率 15%  
稼働率 95%

発電量  
小名浜:8.6MWh/m/年  
波浮:11.0MWh/m/年  
直江津:7.8MWh/m/年  
御前崎:4.6MWh/m/年

太陽光発電(標準として100Wh/m<sup>2</sup>, 1000時間, すなわち100kW/m<sup>2</sup>/年)との比較  
酒田観測所: 130倍, 御前崎観測所: 46倍

# 波力発電方式

振動水柱型	越波型	振り子式波力変換型	可動物体型
<p>空気室の水位が上下すると空気が加圧されたり減圧されたりしてタービンを回す。</p> 	<p>波に運ばれてきた水を貯水槽に集めて、水を下に流すことでタービンを回す。</p> 	<p>係留されたアーチが波のうねりに応答し、水面近くで重い物体が波により運動することを動力として取り込む。</p> 	<p>高速回転中の円板に、傾きを加えることにより生じるジャイロモーメントを利用して、浮体の波による揺れから直接発電機を回転させる方式。</p> 
<p>浮動装置が波に含ませる運動を、全方向から波がエネルギーを吸収する。</p> 	<p>点吸収型</p> 	<p>波水圧差型</p> 	<p>ジャイロ型</p> 

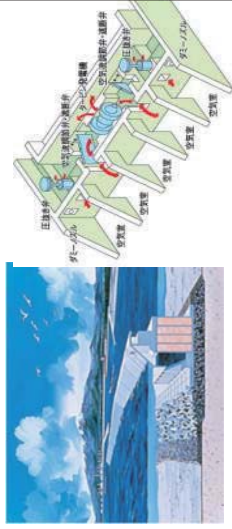
# 日本の波力発電(2)



定圧化タンク方式波力発電システム

千葉県山武郡九十九里町  
波エネルギー吸収装置:直径10m, 高さ11.8m, 10ユニット,  
定圧化タンク:直径9.6m(このタンクで平滑化する)  
定格出力:30kW(ラジアル型タービン・同期発電機)  
**(振動水柱型)**

発電は波の上下動による空気流を利用し、タービンは空気流の向きにかかわらず、一定の方向に回転するウェルズタービンを採用している。なお、大きな波が発生したときは、空気を外に逃がす保護装置をつけている。  
ケーソン:幅20m, 奥行き24.5m  
発電機:直径1.3m, 16枚  
電力出力:AC200V  
定格出力:60kW  
**(振動水柱型)**



波エネルギー利用型防波堤

# 日本の波力発電(1)

表-1 わが国の波力発電の開発

実験名および実験機関	実施年	発電方式
海明	1977~1985	振動水柱型
振り子式装置	1979~1990	振り子式
沿岸固定式	1983~1984	振動水柱型
海鷗	1984~1986	振り子式
定圧化タンク方式	1988~2000	振動水柱型
波力発電防波堤	1990~1991	振動水柱型
水弁集約式	1996	振動水柱型
マイティエーホエール	1998~2002	振動水柱型
ジャイロ式	2001~	ジャイロ式

波エネルギーを受圧板の振り子運動としてとらえ、油圧に変換し、その油圧動力を電力変換する発電システム。



出力:1~12kW  
**(振り子式)**



沖縄県八重山郡西表島サハ沖  
出力:1~12kW  
**(振り子式)**

波力発電システム  
**(海鷗)**

# 日本の波力発電(3)



水弁集約式波力発電システム

防波堤に設置した波力空気室で波の上下運動を空気の流れに換え、水弁を用いて整流・集約化し、タービンを回すシステム。  
波高1.2m以上の波浪状態において、平均出力が常時プラスになり、総合効率は約8%になった。  
1996年9月  
定格出力:130kW  
**(振動水柱型)**

波の上下運動を電気エネルギーに変換するだけでなく、装置後方の海域を静穏化する機能が期待されている。沖合浮体式波力発電装置。  
三重県南勢町五ヶ所湾沖合に係留設置され、(独)海洋研究開発機構が機能や安全性および経済性を評価する実海域実験を行った。  
全長:50m 幅:30m  
前面に3個の空気室  
30kW×2基  
50kW, 10kW  
**(振動水柱型)**



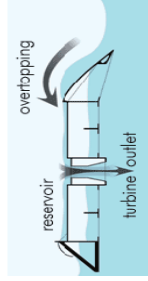
マイティエーホエール

(http://www.mes.co.jp/Akiken/business/projects/ai2004\_101.html)

## 海外の波力発電(1)

表-2 海外の波力発電の開発

プロジェクト名及び装置名	国名	社名及び事業名	実施年	発電方式
Pico	ポルトガル	Wave Energy Centre	1998	振動水柱型
Archimedes Wave Swing	スコットランド	AWS Ocean Energy Ltd	2004	浸水圧力差型
WaveDragon	デンマーク	WaveDragon ApS	2005	越波型
Port Kembang	オーストラリア	Oceanlinx	2005	振動水柱型
Pelamis	イギリス	Pelamis Wave Power	2006	減衰型
AquaBuOY	アゾルカ	AquaEnergy Group	2006	点吸収型
PowerBuoy	アゾルカ	Ocean Power Technologies	2006	点吸収型
Wavebob	アイルランド	Marine Institute	2006	点吸収型
OE Buoy	アイルランド	Ocean Energy	2007	振動水柱型



WaveDragon (<http://www.wavedragon.net/>)

2003年タイプ237t  
→送電網に接続  
2006年に、改良  
2009年にマルチMWの  
配備  
8000m<sup>3</sup>の海水を蓄える。  
(越波型：浮体式)

## 海外の波力発電(3)



Pelamis

([http://www.pelamiswave.com.](http://www.pelamiswave.com/))

直径3.5m、全長145mのチューブ型の形状をしており、これが波の力で蛇のようにうねることによって発電機を動かして発電する仕組みとなっている。

出力：750kW  
(減衰型)

Google INCは、2008年8月に、波力発電または潮力発電を備えた水上プラットフォームに多数のサーバを設置し、電力と熱交換を同時に解決することが可能な**水上データセンター**(Water-Based Data Center)の特許を出願した。

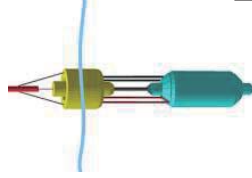


Oceanlinx

([http://www.oceanlinx.com.](http://www.oceanlinx.com))

波を放物線状のコレクタへ集中させてタービンを駆動して発電する。  
2005年完成  
幅：10m、高さ：8m  
発電容量：500kW(年間1GWh)。  
50Hz  
発電コスト：0.15ドル/kWh  
年間790トンのCO2排出量削減)  
(振動水柱型)

## 海外の波力発電(2)



WaveBob

WaveBob  
沖合に波でパイが上下に自由に動くことによる機械のストロークで発電装置が駆動する。発生する電力は水中ケーブルによって岸へ伝導される。  
(点吸収型)

([http://www.wavebob.com/how\\_wavebob\\_works](http://www.wavebob.com/how_wavebob_works))

AquaBuoy

AquaBuoy  
直径13m、長さ48m、重量65トン。  
波とともに上下に動くピストンで水を上下交互に加圧してベルトン・タービンに送る。  
4~5mの波で出力250kW  
(点吸収型)

(<http://www.finavera.com/en/wave-tech/configuration>)

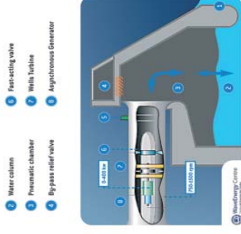


PowerBuoy  
PB40ES：40kW  
PB150：150kW(長さ：44m、直径：11m)  
(点吸収型)

PowerBuoy

(<http://www.oceanpowertechnologies.com>)

## 海外の波力発電(4)



(<http://www.pico-owc.net/>)

Pico Island OWC System



ポルトガルの波力エネルギーセンターがプラントを改良した400kW級の海岸OWC装置である。2005年9月から実海域における試験を行っている。  
(振動水柱型)



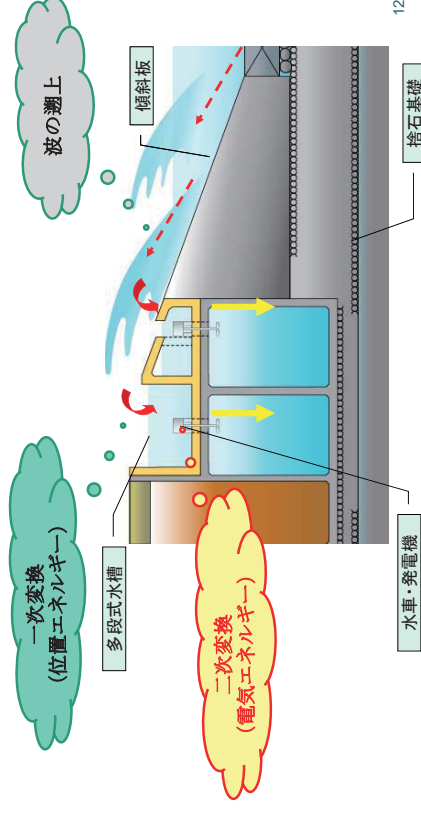
(<http://www.waveenergy.no/OffshoreInstallation.htm>)

The SSG (Slot-cone Generator)

ノルウェーのWAVE Energy AS社により2004年に開発された、潮位変動時の越波にも対応する防波堤に組み込まれるタイプの固定式越波型発電装置である。  
(越波型：固定式)

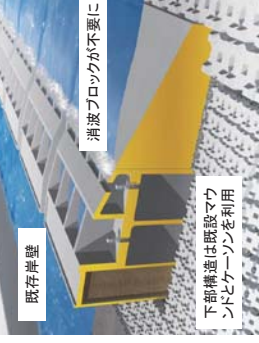
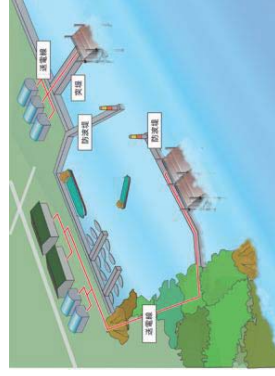
## デバイスの概念図

- ・傾斜板を波を遡上させる。
- ・遡上した波が水槽に流入し位置エネルギーへと一次変換する。
- ・水槽内水面と水槽外の海水面との水頭差による水圧で水車を回す。
- ・水車・発電装置により電気エネルギーへと二次変換する。



## 7 越波式波力発電装置の研究開発

### 2009年NEDO海洋エネルギー研究開発 2012年～2015年NEDO採択による固定型越波式 波力発電装置の実証試験



越波式波力発電装置の概要

越波式波力発電装置の鳥瞰図

#### (原理)

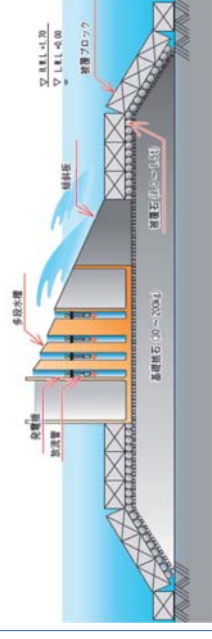
波が斜面を遡上→波エネルギーが位置エネルギーに変換→貯水槽の水位と周囲海域の水位差→運動エネルギー(送水エネルギー)→プロペラが受けるトルク→発電

#### (越波式波力発電装置の特徴)

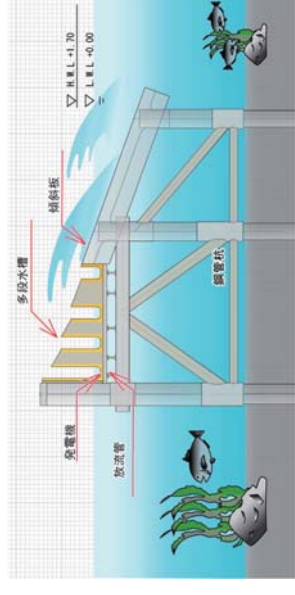
- ・構造がシンプルである。よって、維持管理が容易である。
- ・稼働波高が、0.5m以上ならば良く、わが国の波条件に適している。
- ・長距離のケーブル(電線)を敷設する必要がない。
- ・用途に合わせて、固定型と潮位変動型にできる

## 越波式波力発電のタイプ

**重力式**  
既存の防波堤を利用する。建設費が削減されることが期待できる。



**杭式**  
新たな海域に建設する場合は海域環境への影響への負荷が少ない。

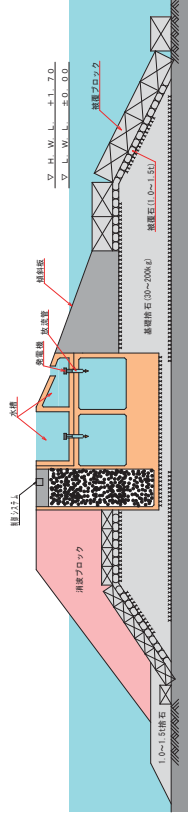




## 越波式波力発電駆体の概要 構造形式

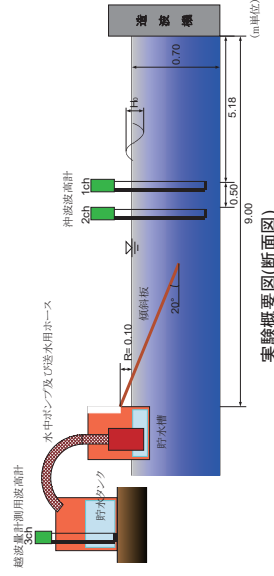
越波式波力発電装置の構造形式は、全国の港湾施設である防波堤でも長年の実績を積む重力式を採用した。

### 重力式



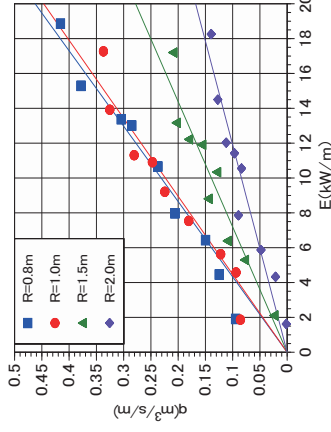
## 越波量 (単水槽) について

### (1) 実験方法および実験条件



- ・海洋学部臨海実験場の平面水槽 (22m x 23m x 1.2m) に貯水槽 (2m x 1m x 0.8m) を設置。
- ・貯水槽に大型水中ポンプを設置し、貯水タンクに越波流量を送水することにより波高が大きな実験ケースでも十分なデータを取得することができ、より正確な越波量を求めた。
- ・実験条件は、静岡県御前崎のNOWPHAS(2004年)による年平均波高と周期を基に想定した条件とした。(波高と周期の組み合わせで36条件)
- ・傾斜板 (2.0m x 2.0m) の傾斜角度 (θ) は 20°、実験水深は 70cm で固定した。
- ・越波揚程 (R) は 8cm, 10cm, 15cm, 20cm とした。
- ・模型縮尺を 1/10 とし、実験条件は Froude の相似則から決定した。また、実験波浪は Bretschneider-光易型を目標スペクトルとする不規則波を用いた。

## 波エネルギーと越波量 (単水槽) の関係



Bretschneider-光易型スペクトルと群速度から求めた波エネルギー

$$E_w = 0.429 \rho D H_{1/3}^2 T_{1/3} \dots \dots (1)$$

$$= 0.429 D H_{1/3}^2 T_{1/3} \quad (\rho = 1000 \text{ kg/m}^3)$$

$$D = \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh}\right) \tanh \frac{2\pi h}{L} \dots \dots (2)$$

D: 群速度に関係する

・越波量は波エネルギーに対して直線的に増加する。

$$q = \alpha E \dots \dots (3)$$

R(m)	α
0.8	0.02312
1.0	0.02234
1.5	0.01390
2.0	0.00840

・従来の越波量は、波高と法先水深比、波形勾配、天端高(越波揚程)で整理されていた。  
・自然の運動現象は、エネルギー理論で論じることができる。実験結果を基に波エネルギーと越波量の関係について検討した。

### 波エネルギーと越波量の関係

## 多段水槽の開口幅と流入に関する実験

開口幅5cm



開口幅10cm

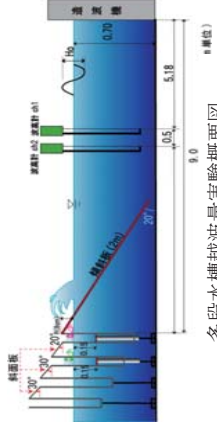


$$H_{1/3} = 20 \text{ cm}, T_{1/3} = 2.53 \text{ s}$$

開口幅は 10 cm (1.0m) 以上あればよい。

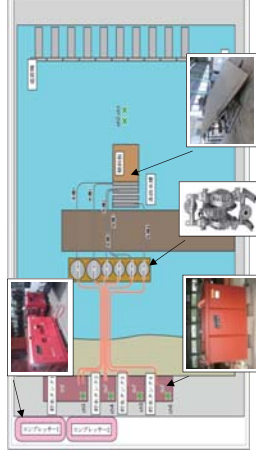
## 越波量（多段水槽）について

### 実験方法および実験条件



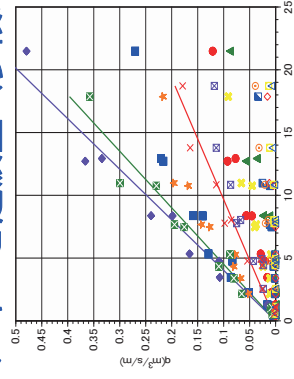
多段水槽越波量実験概要図

- 4段水槽に流入する越波量を計測した。(水槽:幅2.0m, 奥行0.1m, 高さ1.0m)
- 斜面角度が $20^\circ$ ,  $30^\circ$
- 各水槽に流入する越波量は、各水槽に接続されたダイヤフラムポンプを起動し、各段の水槽ごとに用意した貯水タンクに貯水した。
- 実験条件は、単水槽と同じ条件。
- 越波揚程(R)は0cm, 8cm, 15cmとした。
- 模型縮尺を1/10とし、実験条件はFroudeの相似則から決定した。また、実験波浪はBretschneider-光易型を目標スペクトルとする正規波を用いた。



多段水槽越波量実験方法

## 波エネルギーと越波量（多段水槽）の関係



波エネルギーと越波量の関係（4段水槽）

- 各水槽の越波揚程が高くなるにつれ越波量は急激に減少する。
- 越波量は波エネルギーに対して直線的に増加する。

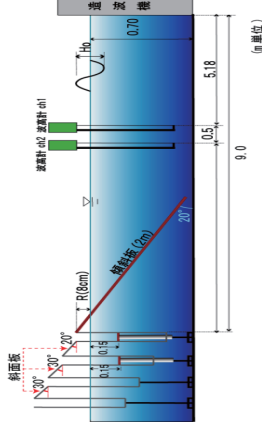
$$q = \alpha E \dots\dots\dots(3)$$

- 越波揚程が0.8mと1.5mの場合の単水槽の $\alpha$ と比較すると、多段水槽の場合は若干小さい値となったがほぼ同様な値となった。多段水槽の場合は、波が遡上する際にエネルギーが損失されるものと考えられる。

R(m)	$\alpha$
0.0	0.02484
0.8	0.02221
1.5	0.01035

## 水槽内水位変化と送水量の特性

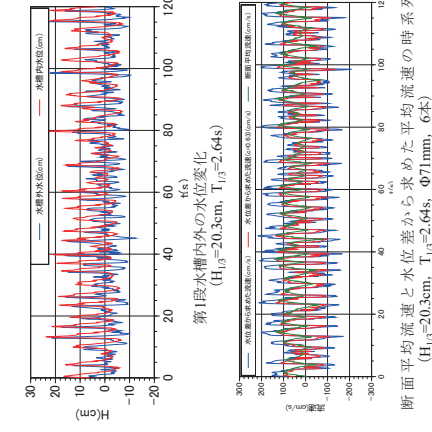
### (1) 実験装置および実験方法



送水特性実験概要図

- 管径が71mmと56mmの2種類の放流管の本数を10本, 8本, 6本, 4本, 2本としたときにいかなる波条件まで水槽内から水が溢れることなく水を排水することができるかを調査した。
- 模型縮尺を1/10とし、実験条件はFroudeの相似則から決定した。実験条件は表-1とほぼ同様である。
- 越波揚程(R)は、第1水槽では8cm, 第2水槽から第4水槽は順に16cm, 24cm, 36cmとした。傾斜板の角度は $20^\circ$ に、実験水深は0.7mに固定した。

### (2) 水槽内外水位変化と送水管内流速



送水管内軸上流速を $U_{max}$ とし、 $1/n$ 乗則を適用すると管内平均流速 $U_m$ は次式となる。

$$U_m = \frac{2n^2}{(2n+1)(n+1)} U_{max} \dots\dots(9)$$

送水管から排水される流量は、 $Q=U_m A N$ となる。 $A$ は送水管の断面積、 $N$ は送水管本数である。

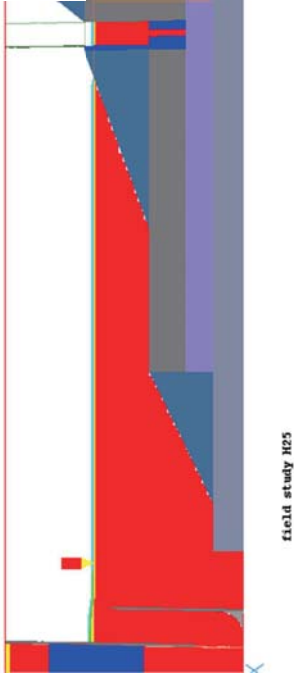
水槽内外の水位を $H_1, H_2$ とすると水位差 $\Delta H$ は、 $\Delta H=H_1-H_2$ である。よって、水位差から想定される流量 $Q_{th}$ は次式となる。

$$Q_{th} = C A \sqrt{2g \Delta H} N \dots\dots\dots(10)$$

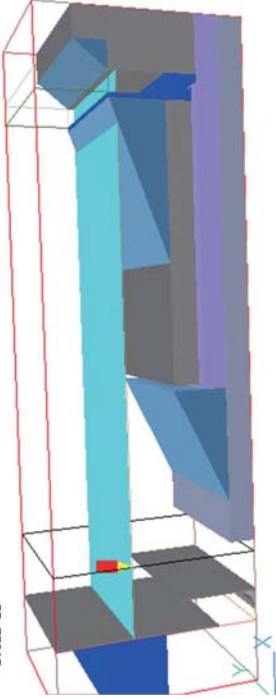
ここで、 $C$ は流量係数である。

- 水槽内水位には、水槽外水位に対して最小で0.6sの遅れが見られる。
- 遅れ時間は、越波した水が水槽内に入り込むまでの挙動により生じ、波条件によっては水槽内外の水位が逆位相になる場合がある。
- 遅れ時間は、波エネルギーが大きくなるほど短くなり、小さくなると若干長く(最大1s)なる傾向がある。

## 越波式波力発電の数値シミュレーション

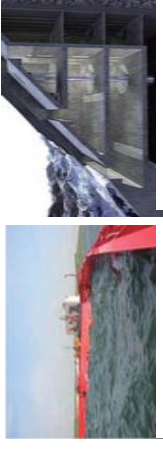


## 越波式波力発電の数値シミュレーション

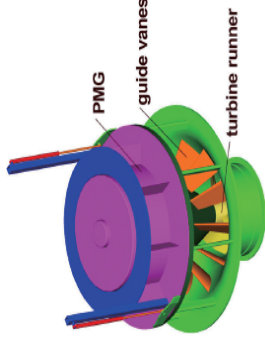


## 越波式波力発電の発電要素

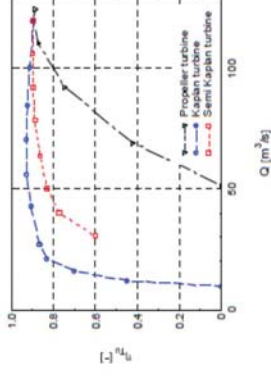
越波式波力発電であるWave DragonとSSGを研究開発したAalborg University (デンマーク)のLucia Margheritini准教授と、高効率な発電機を開発したTechnical University of Munich (ドイツ)のWilfried Knapp教授の協力得て、多段式の越波式波力発電に適する発電機を共同開発する。



この発電機は、比較的高い磁極数でゆっくり回転する永久磁石発電機(PMG)を利用したものであり、流量が $20\text{m}^3/\text{s}$ 以上では80%以上の効率で発電する性能を有している。



越波式波力発電用の発電機  
(Wilfried Knapp)



越波式波力発電の発電効率  
(Wilfried Knapp)

## 経済性の検討(発電コスト)

$$\text{発電コスト (円/kWh)} = \frac{\text{設置コスト (円)} \times \text{年経費率 (\%)} + \text{年間燃料費 (円)} + \text{年間運転経費 (円)}}{\text{年間発電電力量 (kWh)}}$$

$$= \frac{1,937,700,000 \text{ (円)} \times 0.038865 + 0 \text{ (円)} + 37,926,800 \text{ (円)}}{1,140,114 \text{ (kWh)}} = 99.25 \text{ (円/kWh)}$$

### 御前崎港の例

## 各地の波エネルギー賦存量と発電コスト

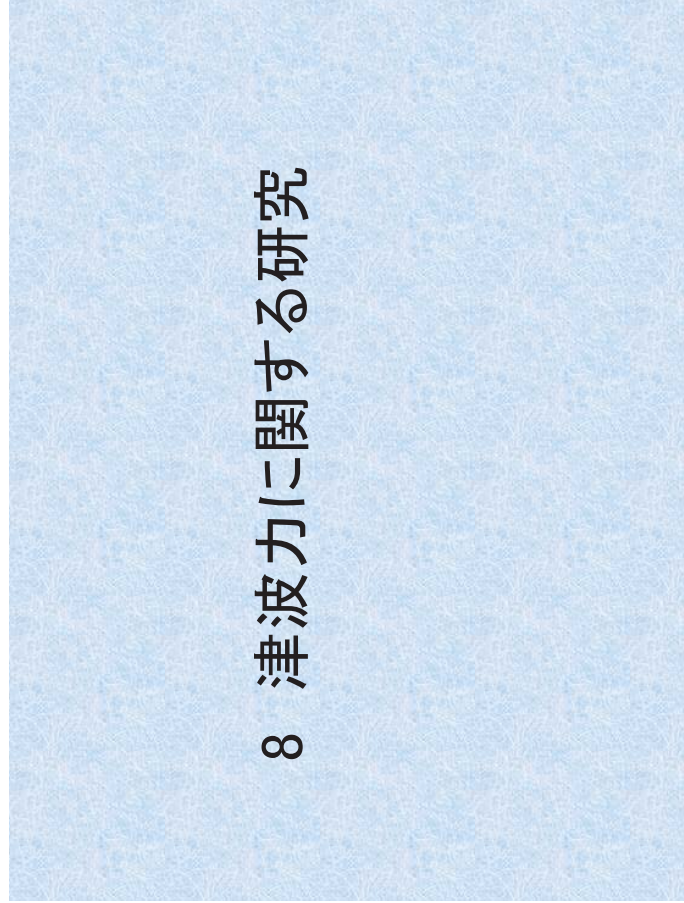
海域	エネルギー賦存量 (MWh/m)	エネルギー賦存量の倍率	発電コスト (円/kWh)
御前崎	32.0	1	99.3
酒田	84.8	2.65	37.5
波浮	80.0	2.50	39.7
輪島	79.7	2.49	39.9
鹿島	73.6	2.30	43.2

※ここでは、建設コスト:約1000万円/m、総合変換効率15%、稼働率95%とした。

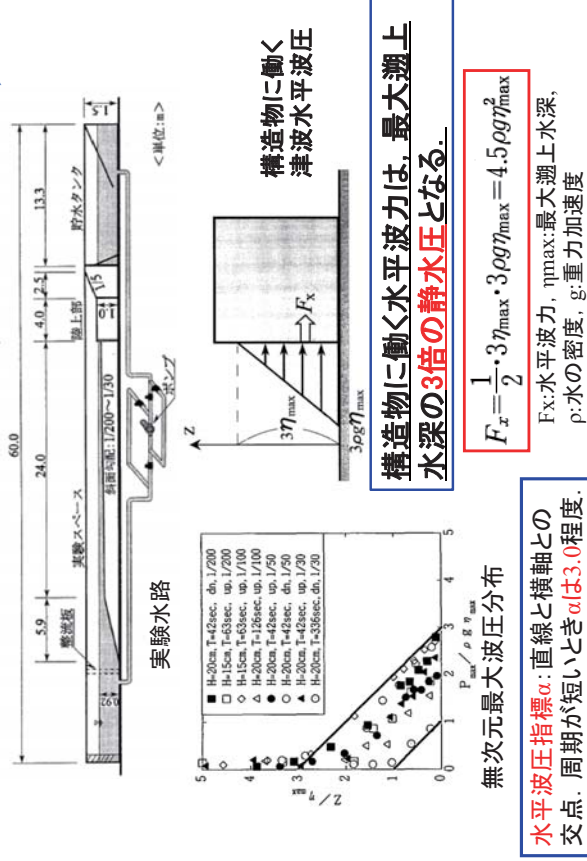
## 越波式波力発電模型



## 8 津波力に関する研究



## 陸上の建物に働く津波の力(朝倉等, 2000)



## 津波荷重算定式の問題点

- わが国のガイドラインでは、津波波圧算定式として朝倉の式(2000)を用いている。⇒ **防波堤、原子力発電所の防波壁等**
- 津波は陸上に遡上すると大流量の流れとなって建築物に当たる。
- 流体中の物体に働く水平方向の力は、静水圧、動圧、抗力(形状抵抗+摩擦力)、それに先端の衝撃力である。
- アメリカ合衆国連邦緊急事態管理局(FEMA)のガイドラインでは、流体力として抗力を考慮している。



- (1) 段波としての衝撃力を考慮する。
- (2) 水平方向の力は、静水圧、動圧、抗力(形状抵抗+摩擦力)と先端の衝撃力を考慮すべきである。
- (3) 流体力学の現象に基づいて実験およびシミュレーションを行う必要がある。

## 陸上の建物に働く津波の力の算定例(1)

右図の建物に水深5mで、流速が12m/sの津波が段波として陸上の建物に押し寄せたときの建物に働く力を求める。

ここで、P:静水圧、F<sub>D</sub>:抗力、B<sub>0</sub>:浮力、

ρ:密度(1000kg/m<sup>3</sup>)、g:重力加速度(9.8m/s<sup>2</sup>)、

C<sub>D</sub>:抗力係数(2.0:建築研究所)

$$P = \frac{1}{2} \rho g H H B = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 5\text{m} \times 5\text{m} \times 10\text{m} = 12250000\text{N}$$

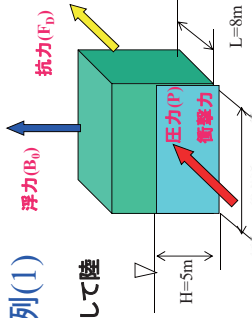
$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho U^2 A = \frac{1}{2} \times 2.0 \times 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \left(12.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 \times 50\text{m}^2 = 7200000\text{N}$$

$$B_0 = \rho g B L H = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 10\text{m} \times 8\text{m} \times 5\text{m} = 3920000\text{N}$$

よって、流れ方向に  $F = P + F_D = 8425000\text{N} = 860\text{tf}$

鉛直方向に  $B_0 = 3920000\text{N} = 400\text{tf}$  となる。

この算定は、単純化しているが、建物にはかなり大きな力が働くものと考えられる。**この計算には、衝撃力は入れていない。**



抗力は静水圧の約6倍もの力が働く。

## 陸上の建物に働く津波の力の算定例(2)

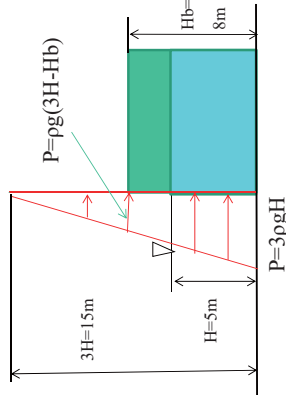
朝倉等の式による津波波圧の算定

Hb: 建物の高さ

$$F_x = \frac{\{\rho g(3H - Hb) + 3\rho g H\} H b B}{2} = \frac{\rho g(6H - Hb) H b B}{2}$$

$$= 0.5 \times 1000 \text{kg/m}^3 \times 9.8 \text{m/s}^2 \times (6 \times 5\text{m} - 8\text{m}) \times 8\text{m} \times 10\text{m} = 8624000\text{N} = 880\text{tf}$$

静水圧と抗力を考慮した水平方向の津波力と朝倉の式から求めた水平方向の津波力は、ほぼ同じ値となった。

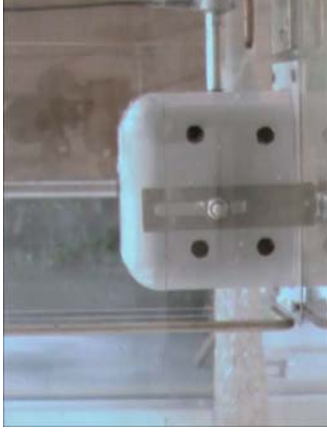


## 津波が構造物に作用する実験

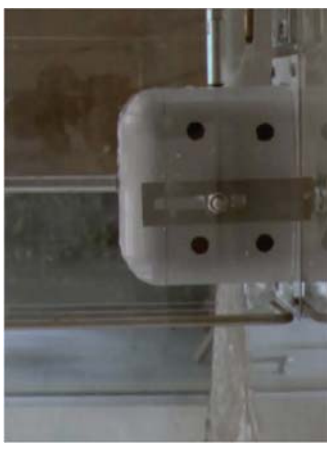
(東海大学海洋学部田中研究室)

スローモーション

波高が小さい津波



波高が大きい津波



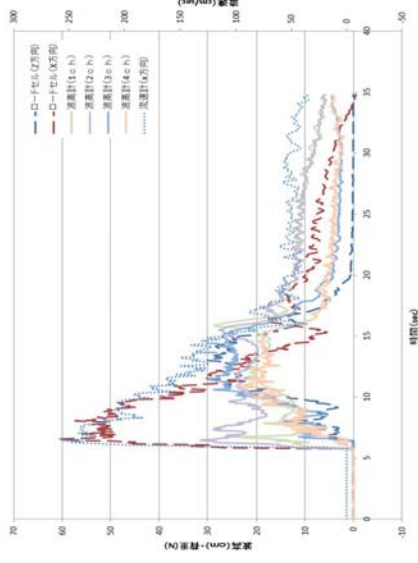
## 津波が構造物に作用する実験

(東海大学海洋学部田中研究室)

模型縮尺: 1/20 模型サイズ: 横14.7cm、縦10.3cm、高さ14.4cm

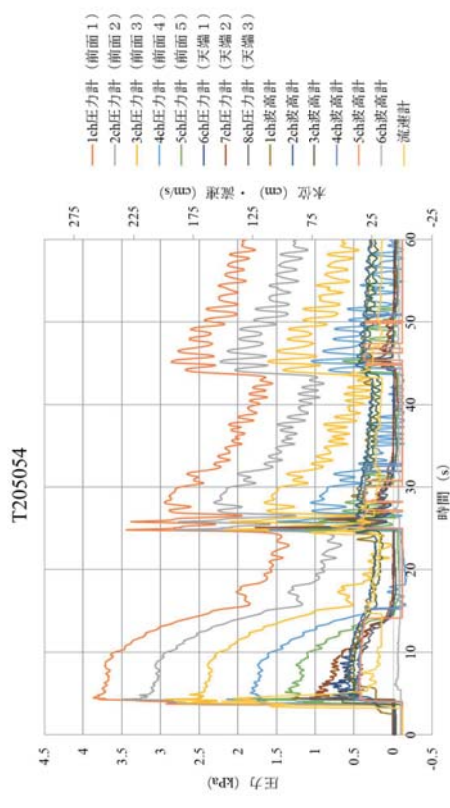


## 建物に働く津波の実験結果



- ・流れ方向に60N(6.1kgf)、6秒後に鉛直方向に30N(3.1kgf)の力が働いた。
- ・水平方向の力は、流速の変動とほぼ一致する。実物だと数10トンの力である。
- ・**水平方向の力の最大値は、段波が物体に到達した瞬間に生じる。**
- ・鉛直方向の力(浮力)の最大値は、物体地点の水深が最大になった時に生じる。

## 計測データ



貯水槽水深54cm, 前面水位5cm, 勾配1/20

## 防波壁の実験



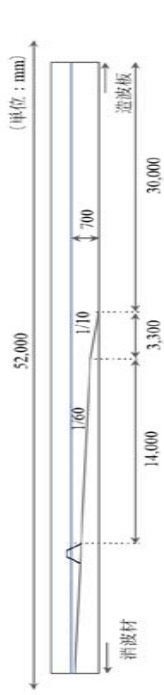
貯水槽水深54cm, 前面水位5cm, 勾配1/20

## 10 消波ブロックと袋材の安定係数に関する研究

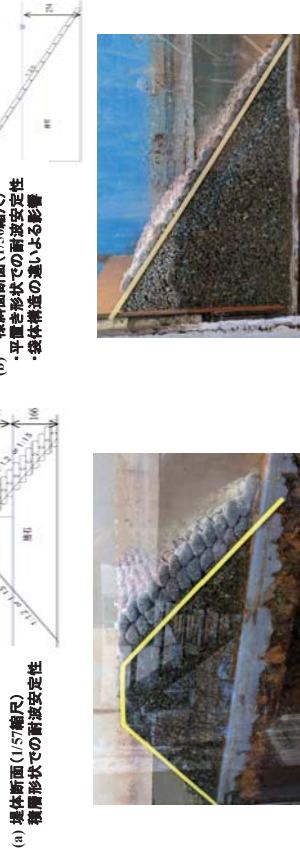
(第48回海洋開発シンポジウム(2023)より)

## 実験の方法

### 実験水槽



### 実験断面



## 実験の結果

### 設置形状および袋体構造がおよぼす影響(一樣斜面断面実験)

- 平置き形状における1%被災率時の $K_D$ 値を算出した。高拘束型袋体:  $K_D = 8.41$  従来型袋体:  $K_D = 6.04$
- 堤体断面と比較して小さい値を示した。積層形状のように上下段との摩擦が存在しないためと推察される。
- 袋体構造の違いによって明らかになりに耐波安定性が変化することを確認した。
- いずれの設置形状でも、周期によって同波高に対する被災率が異なる。

### 安定性の評価: ハドソン式

$$K_D = \frac{\rho_s H_{1/3}^3}{W (G_1 / A_w)^3 \cos \alpha}$$

$\rho_s$ : 袋体の密度( $t/m^3$ )  $H_{1/3}$ : 有義波高(m)  
 $W$ : 質量(t)  $\rho_w$ : 水の密度( $t/m^3$ )  
 $\alpha$ : 斜面勾配

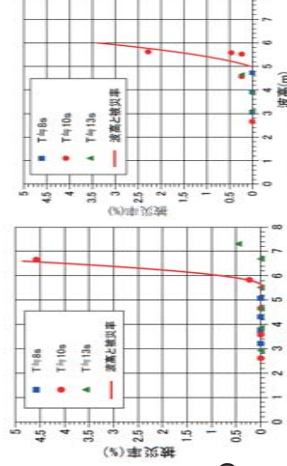


図7 波高と被災率の関係 (堤体型断面)

図8 波高と被災率の関係 (海州型袋体)

## 実験の結果

### 不規則波エネルギーによる耐波安定性の評価

#### (不規則波エネルギーの導出)

$$\text{不規則波エネルギー} E = \rho g \int_0^{\infty} S(f) df \quad \dots(1)$$

修正 Bretschneider-光島型スペクトル

$$S(f) = 0.205 H_{1/3}^2 T_{1/3}^4 (T_{1/3} f)^{-5} \exp\{-0.75(T_{1/3} f)^{-4}\} \quad \dots(2)$$

$$S(f) = A f^{-5} \exp(B f^4) \quad \dots(2)$$

単位幅あたりの波エネルギー $E$ は、群速度 $C_g$ で運ばれる

$$E = \rho g \int_0^{\infty} S(f) C_g df \quad \dots(3)$$

浅海波の群速度 $C_g$

$$C_g = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \left( \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \right) = \frac{g}{4\pi} D f^{-1} \quad \dots(4)$$

$$D = \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \left( \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L} \right) \quad \dots(4)$$

式(3)に式(2)と式(4)を代入して整理すると

$$E = \frac{\rho g^2}{16\pi} AD \frac{T^5}{B^{5/4}} \quad \dots(5)$$

展開して整理すると

$$E = 0.509 \rho D H_{1/3}^2 T_{1/3} \quad (\text{kW/m}) \quad \dots(6)$$

#### (模型に作用するエネルギーの定義)

不規則波の輸送エネルギー保存則は、

$$E_t = E_r + E_l + E_i \quad \dots(7)$$

$E_i$ : 入射エネルギー、 $E_r$ : 反射エネルギー、 $E_l$ : 透過エネルギー、 $E_l$ : 損失エネルギー

堤体断面の実験では堤体を越波する状況も観察されたが、本実験では越波水深を計測していない。

そこで、式(6)の $E_r$ と $E_l$ をまとめて、 $E_1$ とすることで評価した。

$$E_1 = E_r + E_l \quad \dots(8)$$

式(7)を变形して整理すると

$$1 = K_R^2 + K_I$$

$K_R^2 = \sqrt{E_r/E_1}$ は反射率、 $K_I = E_l/E_1$ はエネルギー損失割合

従って、エネルギー損失 $K_I$ が模型に作用したエネルギーに相当する。

## 実験の結果

### 不規則波エネルギーによる耐波安定性の評価

- 測定した反射率 $K_R$ から $K_I$ を求め、入射エネルギー $E_1$ から損失エネルギー $E_l$ を算定し、被災率との相関を整理したところ、右図のような綺麗な相関関係で整理することができた。
- ハドソン式とは異なり、周期や反射率をパラメータとして盛り込んだ結果と考えられる。
- 堤体断面および一樣斜面断面のいずれにおいても、同様の整理が可能であった。

力学現象はエネルギーで説明する必要がある、消波ブロックや被覆材の安定条件も、それに働くエネルギーによる評価を検討することが肝要である。

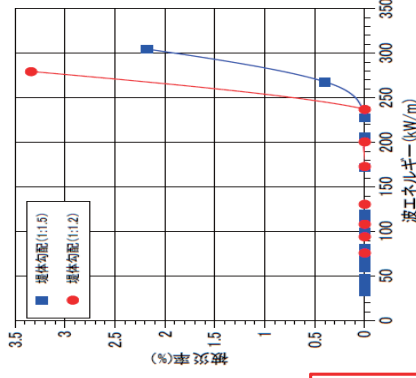


図10 波エネルギーと被災率の関係 (堤体断面)

# 11 現状と将来をどう生きるか どのような会社・組織にするか

## わが国産業の状況

### (1) 電器産業

シャープ ⇒ 鴻海精密工業(台湾)  
原因: ポートフォリオなき経営。

東芝 ⇒ 美的集団(中国)  
医療 ⇒ キヤノン  
半導体 ⇒ ?

原因: WHのような抜け殻の原子力企業を買った。  
原子力への偏重。

### (2) PC

今製造している企業: パナソニック、パイオ、東芝  
富士通とNECは、LENOVOに経営統合された。

### (3) スマートフォン

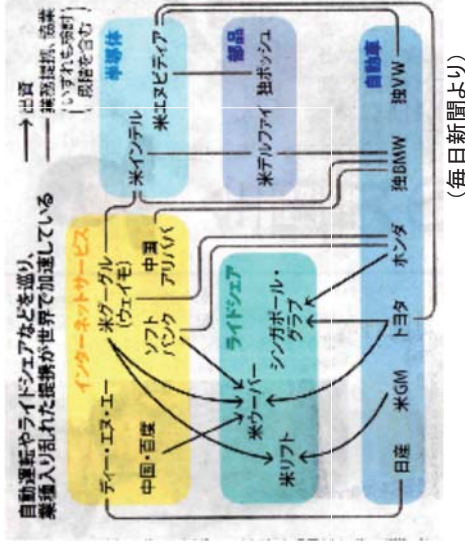
今製造している企業.....ソニー、富士通、京セラ  
NEC、パナソニック、東芝、カシオは撤退した。  
世界は、SAMSUNG(韓国)、Apple(米国)、ファウエー(中国)、その他  
の中国企業

## AIの進歩

NVIDIAのGPU(自動運転用AIコンピュータ)がリード  
AIの進歩で産業と世の中が変わる。

機械の制御が、  
メカからソフトに  
変わった。

わが国は苦手な  
領域である。



## これから期待される人物

- ・イノベーター (innovator) 革新者。新技術などの導入者。
- ・ビジョナリー (visionary) 先見の明のある人。

## ・パラダイムシフト (paradigm shift)

その時代や分野において当然のことと考えられていた認識や  
思想、社会全体の価値観などが革命的にもしくは劇的に変化  
することという。

追う者は敏感だが、追われる者は、パラダイムシフトに対する  
嗅覚が鈍るものである。

教育は、上記の素養があるまたは持つ学生を育成し、革新者  
を育てる教育を行う必要がある。  
そのためには、.....



## 空気を読むな

組織の人間が空気を読んだら、その組織はだめになる。心の中で思っているダメな点を、声を出して議論しないと改善されず、その組織は没落するのみである。

空気を読まない人を排除しようとする人を排除せよ。

自分と異なる様々な意見に耳を傾けることのできる、寛容な人になる。

世界の優良企業は、本音の意見をぶつけ合うことによって成長している。そこには、空気を読むという行為は存在しない。

## イノベーター、ビジョナリーの例

- (1)Apple 1976年4月  
スティーブ・ジョブズとスティーブ・ウォズニアツクの2人で設立した。  
時価総額 10,450億ドル(約116兆円)
- (2)Google(Alphabet) 1998年9月  
スタンフォード大学の博士課程に在籍していたラリー・ペイジとセルゲイ・ブリンが創業した。  
時価総額 8000億ドル(約88兆8000億円)

発想が良ければ、40年、20年でこれだけの企業となる。  
わが国のもののような人材が出現することを期待する。



Apple I



学寮内で開発した検索装置

## ご清聴ありがとうございました



越波式波力発電の実験

草木バイオマス発電装置の全景

