Energia

エネルギア総研レビュー

2016
Vol.2
No.44

研究レポート

●配電線路のPV出力変動に起因するSVR間のハンチング防止に関する基礎検討 ……2
●汎用CFD技術による水力発電所取水構造物周辺の流況再現 ……6
●蒸気タービン鋳鋼経年材の脆化特性 ……8
●将来のエネルギー価格見通し(2016) ……12

知財情報

●知的財産交流事業(川崎モデル)における知財紹介について ……16

トピックス

●研究開発成果を社外展示会で広く発信 ……18
●博士(工学)学位取得 ……20

担当紹介(環境技術グループ) ……21

平成27年度 学会・協会等への発表一覧 ……22

見学のご案内 ……24

長期使用された
蒸気タービン弁の外観
関連記事P8

中国電力株式会社

配電線路のPV出力変動に起因するSVR間のハンチング防止に関する基礎検討

エネルギア総合研究所　系統グループ　柴丸　　昇

1 まえがき

太陽光発電（以下，PV：Photovoltaic）の普及拡大が急速に進んでおり，PVが配電系統に大量導入された場合，PVの出力変動に伴う電圧変動により，系統電圧が適正範囲を逸脱することが懸念される。

このような電圧変動に対して自動電圧調整器（配電線路に直列に設置される負荷時タップ切替変圧器。以下，SVR：Step Voltage Regulator）を設置し，タップ切り替えにより電圧を適正範囲に制御する方法が有効である。しかし，自律的に動作するSVRが多段設置された配電線路では，それらSVR間のハンチングに留意する必要がある。

例えば，2台のSVRが多段設置された配電線路を想定し，変電所側を1段目SVR，系統末端側を2段目SVRとする。2段目SVRの2次側に連系されたPVの出力低下によって電圧が低下した時に，先に2段目SVRがタップを切り替えて昇圧し，遅れて1段目SVRが昇圧することがある。このとき，1段目SVRの昇圧制御に影響されて，2段目SVRが降圧し再びタップを元の位置に戻してしまうと，2段目SVRの一連の動作は不要なタップ切り替え（ハンチング）といえる。SVRは，機械的接点が摩耗するので，一定の動作回数を超えるとメンテナンスが必要である。そのため，機器寿命を短くするハンチングは防止することが望ましい。

その対策として，1段目SVRより2段目SVRの不感帯または動作時間整定値を大きくする方法があるが，必要以上にその値を大きくしてしまうと電圧調整の応答性能が低下する。よって，不感帯や動作時間整定値は，SVRの寿命を短くしない範囲で，できるだけ小さな値に設定することが望ましい。

本稿では，SVRの動作時間整定値の適正化を目的に，簡略化したモデル系統により，多段設置された2台のSVR間のハンチング発生頻度を推定する手法の基礎検討を行ったので，その内容を報告する。

なお，本検討は株式会社日立製作所との共同研究「計測情報を活用したLRT・SVR整定アルゴリズムに関する研究」において実施した。

2 概　　要

2.1　SVRの動作時間整定方式

SVRは，あらかじめ設定した基準電圧V_{SVR_ref}に近い値となるよう，自動的にタップを切り替えて2次側電圧V_{SVR}を制御する。また，動作時間整定値によりタップ切り替えタイミングを調整する。動作時間整定方式は以下の定限時（主にダイヘン製）と積分値（北陸電機製造製）の2種類がある。

a．定限時動作方式

SVRの2次側電圧V_{SVR}が不感帯上下限V_{UL}，V_{LL}を逸脱した時間の積算値Δt_{UL}またはΔt_{LL}のいずれかが動作時間整定値α（秒）に達した場合に，SVRのタップを切り替える。タップ切り替え時に積算時間Δt_{UL}またはΔt_{LL}はリセットされる。SVRの2次側電圧V_{SVR}が不感帯の上限V_{UL}を逸脱した時の積算時間Δt_{UL}の計算例を図1および（1）式に示す。

$$\alpha \leq \Delta t_{UL} = \Delta t_a - \Delta t_b + \Delta t_c \qquad (1)$$

b．積分値動作方式

SVRの2次側電圧V_{SVR}が不感帯上下限V_{UL}，V_{LL}を逸脱した電圧量V_{SVR_UL}またはV_{SVR_LL}の積算量が動作時間整定値β（%秒）に達した場合に，SVRのタップを切り替える。タップ切り替え時刻t_{TC}にΔV_{SVR_UL}またはΔV_{SVR_LL}の積算量はリセットされる。SVRの2次側電圧V_{SVR}が不感帯の上限V_{UL}を逸脱した時のΔV_{SVR_UL}の積算量$F^+(t)$の計算例を図1および（2）～（4）式に示す。

$$\beta < F^+(t) \qquad (2)$$

$$F^+(t) = \begin{cases} F(t), \text{if } F(t) > 0 \\ 0, \text{otherwise} \end{cases} \qquad (3)$$

$$F(t) = \int_{t_{TC}}^{t} \Delta V_{SVR}(t)\,dt = \int_{t_{TC}}^{t} \{V_{SVR}(t) - V_{UL}\}dt \qquad (4)$$

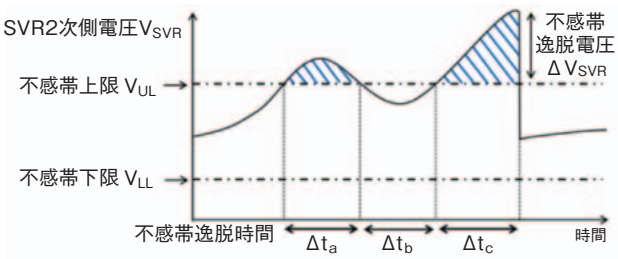


図1　SVRのタップ切り替え動作

2.2　SVRのタップ動作およびハンチング

2.2.1　ハンチング発生時のSVR動作

積分値動作方式を含む複数のSVRを多段設置した場合，動作時間整定値の設定によってはハンチング

が発生するという課題がある。ハンチング発生時のSVRのタップ切り替え動作例を図2に示す。図2は，以下①～④に記すタップ切り替え動作を示している。

①SVR2の2次側に連系されたPVの出力低下により電圧低下し，SVR1およびSVR2の2次側電圧が不感帯下限を逸脱する。簡単のため，不感帯逸脱電圧のΔV_{SVR1}は1%（6,600V基準の%値），ΔV_{SVR2}は2%とする。

②①から電圧逸脱が30秒間継続した時にΔV_{SVR2}の積算値は動作時間整定値β_2の60%秒に達し，SVR2はタップを切り替えて昇圧する。

③①から電圧逸脱が40秒間継続した時にΔV_{SVR1}の積算値は動作時間整定値β_1の40%秒に達し，SVR1はタップを切り替えて昇圧する。SVR2の2次側電圧は，SVR1の昇圧制御に影響されて，不感帯上限を逸脱する。簡単のため，不感帯逸脱電圧のΔV_{SVR2}は2%とする。

④③から電圧逸脱が30秒間継続した70秒時点でΔV_{SVR2}の積算値が動作時間整定値β_2の60%秒に達し，SVR2はタップを切り替えて降圧する。

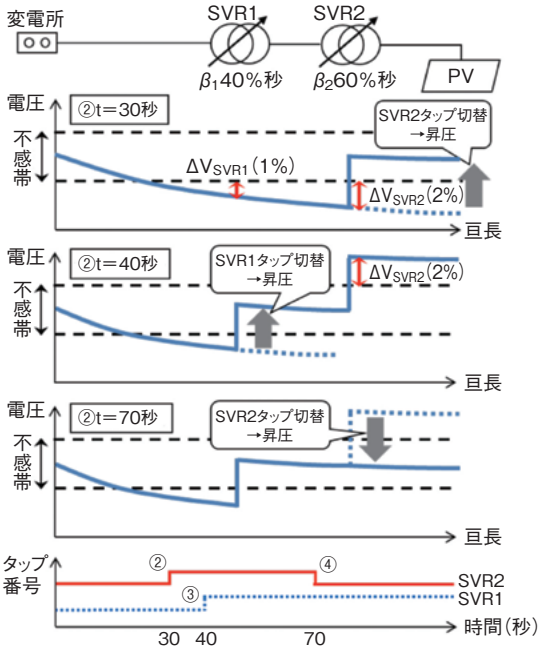


図2　ハンチング発生時のSVR動作

2.2.2　ハンチング回避時のSVR動作

動作時間整定値の適正化により，ハンチングを回避した時のSVRのタップ切り替え動作を図3に示す。先にSVR1のタップが切り替わるように，SVR2の動作時間整定値β_2を60%秒から120%秒に大きくすることで，ハンチングを回避できる。これにより，SVR2のタップ切り替え回数は2回から0回に低減され，またSVR2の不感帯上限逸脱を解消できる。

一方，定限時動作方式のSVRでは，不感帯逸脱時間の積算値と動作時間整定値α_1およびα_2によって，タップ切り替え時間は決まる。そのため，図3に示すように，SVR1のα_1に対してSVR2のα_2をある程度大きな値にすることで，先にSVR1のタップが切り替わり，ハンチングを防止できる。

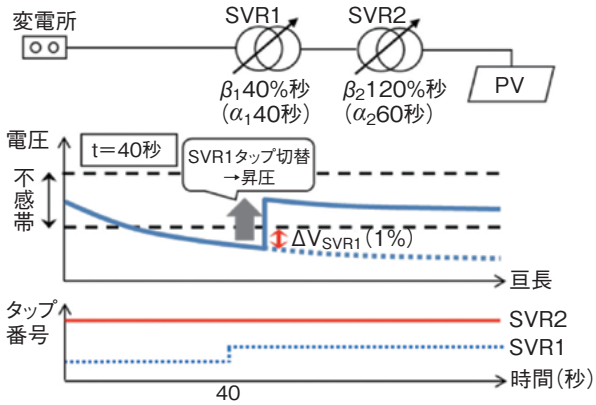


図3　ハンチング回避時のSVR動作

2.3　検討ケース

積分値動作方式では，PVの出力変動による不感帯逸脱電圧のΔV_{SVR1}およびΔV_{SVR2}の大きさによって，ハンチングが発生するSVRの動作時間整定値β_1およびβ_2は変わる。しかし，定限時動作方式では，ΔV_{SVR1}およびΔV_{SVR2}の大きさに影響されない。

そこで本稿では，SVRを2台多段設置する際に積分値動作方式が含まれる以下の組み合わせケースについて，PVの出力変動を考慮して動作時間整定値ごとにハンチングの発生頻度を推定する手法について検討した結果を紹介する。

（case A）積分値SVR1および積分値SVR2
（case B）定限時SVR1および積分値SVR2
（case C）積分値SVR1および定限時SVR2

3　検討結果

3.1　ハンチング頻度推定手法

図4に示すように，SVR2の動作時間整定値とそ

の2次側のPV連系容量に対して，ハンチング頻度を低, 中, 高の3段階で判定する。ハンチング頻度とは，後述する前提条件に基づいて，ハンチングが発生しやすい条件を段階的に分けたものである。

次に，図4に示す境界iおよびiiの判定式の導出について述べる。

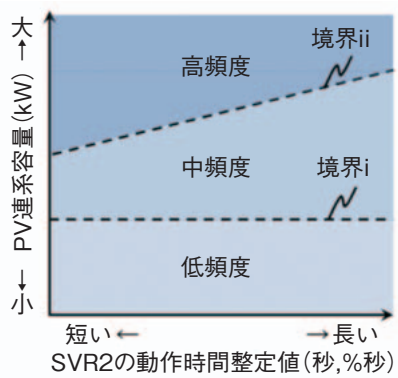


図4　ハンチング頻度推定の概要（case B）

3.1.1　前提条件

図5に示すように，PVの出力変動前のSVRの2次側電圧が基準電圧V_{SVR_ref}に等しいとおけば，不感帯逸脱電圧ΔV_{SVR}の計算を簡略化できる。この場合, 不感帯逸脱電圧ΔV_{SVR}は，(5) 式で計算される。ここで，ε_{SVR}は不感帯（V），ΔV_{PV}はPVの出力変動によるSVRの2次側電圧変動（V）である。

$$\Delta V_{SVR} = \Delta V_{PV} - \varepsilon_{SVR} \tag{5}$$

ΔV_{PV}は（6）式で計算される。ここで，Zは変電所からSVR設置点までの線路インピーダンス（Ω），ΔP_{PV}はPVの出力電力変動 (W)，ΔI_{PV}はΔP_{PV}による線電流変動（A），V_{BASE}は配電系統の基準線間電圧 (V) である。ΔP_{PV}は，PVが定格出力（P_{PV_MAX}）から0（P_{PV_MIN}）まで変化した時の出力変動を対象とすることとし，PV連系容量の値を用いた。これにより，配電系統設備情報であるPV連系容量からΔV_{PV}を計算可能とした。

$$\Delta V_{PV} = \sqrt{3} Z \Delta I_{PV} = \frac{\sqrt{3} Z \Delta P_{PV}}{\sqrt{3} V_{BASE}} = \frac{Z \Delta P_{PV}}{V_{BASE}} \tag{6}$$

（5）式に（6）式を代入すると，ΔV_{SVR}はΔP_{PV}の関数で表される。なお，括弧内は定数である。

$$\Delta V_{SVR} = \left[\frac{Z}{V_{BASE}}\right] \times \Delta P_{PV} - (\varepsilon_{SVR}) \tag{7}$$

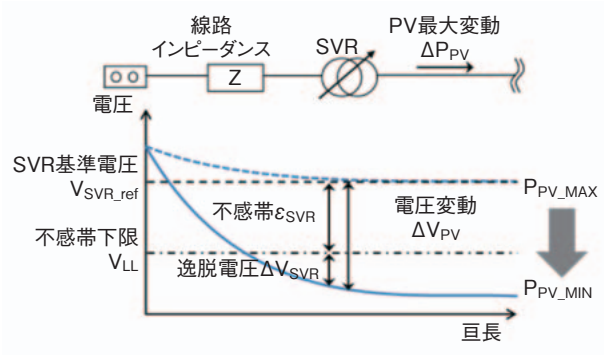


図5　数式の記号

3.1.2　判定式iの導出

SVR2の2次側に連系されたPVの出力変動ΔP_{PV}によってSVR1のタップが切り替わることがなければ，ハンチングは発生しない。すなわち，SVR1の2次側電圧が不感帯内に収まっておれば良いことから，判定式iは（8）式で与えられる。(8) 式のとおり，SVR1の不感帯逸脱電圧ΔV_{SVR1}が0V以下の場合，ハンチング頻度を低と判定する。

$$\Delta V_{SVR1} < 0 \tag{8}$$

（8）式に（7）式を代入すると，(9) 式のように変形できる。ここでZ_1およびV_{BASE}は正の値なので$Z_1/V_{BASE}>0$となり，不等号の向きは固定される。そして，(9) 式の右辺によって決まる境界の下部がハンチング頻度の低領域となる。なお，ΔP_{PV}以外は定数である。

$$\Delta P_{PV} < \left[\frac{\varepsilon_{SVR1} V_{BASE}}{Z_1}\right] \left[\because \frac{Z_1}{V_{BASE}} > 0\right] \tag{9}$$

3.1.3　判定式iiの導出

判定式iのΔV_{SVR1}が正の値となり，SVR1の2次側電圧が不感帯を逸脱する場合でも，SVR2よりSVR1が先にタップを切り替えれば，ハンチングは発生しない。そこで判定式iiは（10）式で与えられる。(10) 式のとおり，SVR2のタップ切り替え時間T_{SVR2}よりSVR1のタップ切り替え時間T_{SVR1}が短いとき，ハンチング頻度を中と判定する。

$$T_{SVR1} < T_{SVR2} \tag{10}$$

次に，定限時動作方式と積分値動作方式の各々のSVRについて，T_{SVR1}およびT_{SVR2}の計算式を示す。

a．定限時動作方式

タップ切り替え時間と動作時間整定値α（秒）は等しいため，T_{SVR1}は（11）式となる。なおT_{SVR2}も同様に計算する。

$$T_{SVR1} = \alpha_1 \quad (11)$$

b．積分値動作方式

タップ切り替え時間T_{SVR1}は，動作時間整定値β（%秒）を不感帯逸脱電圧ΔV_{SVR}で割り，単位変換係数を乗じた値となる。T_{SVR1}は（12）式で計算される。なおT_{SVR2}も同様に計算する。

$$T_{SVRI} = \frac{\beta_1}{\Delta V_{SVRI}} \times \frac{V_{BASE}}{100} \quad (12)$$

そして，SVR組み合わせcase A～Cに対する判定式iiは，（10）式に（11）式または（12）式を代入し，不等式を変形した（13）～（17）式となる。SVR1の動作時間整定値α_1およびβ_1を小さい値に設定する方がハンチングの発生を抑制できる。そこで（13）～（17）式のα_1およびβ_1は，整定範囲の最小値に固定した。

(case A) 積分値SVR1および積分値SVR2

case Aの判定式iiは，（13）～（15）式に示すように変数β_2に反比例する関数となる。不等号の向きから，$\beta_2 Z_1 > \beta_1 Z_2$のときは，境界線の上部がハンチング頻度の中領域となる。一方，$\beta_2 Z_1 < \beta_1 Z_2$のときは，境界線の下部がハンチング頻度の中領域となる。なお，β_2以外は定数である。

$$\Delta P_{PV} > F(\beta_2) \quad (13)$$

（$\beta_2 Z_1 > \beta_1 Z_2$の場合）

$$\Delta P_{PV} > F(\beta_2) \quad (14)$$

（$\beta_2 Z_1 < \beta_1 Z_2$の場合）

$$F(\beta_2) = \left\{ \frac{\left[\frac{Z_2}{Z_1} - \frac{\varepsilon_{SVR2}}{\varepsilon_{SVR1}}\right] \times (\beta_1)}{\beta_2 - \left[\beta_1 \times \frac{Z_2}{Z_1}\right]} + 1 \right\} \times \left[\frac{\varepsilon_{SVR1} V_{BASE}}{Z_1}\right] \quad (15)$$

(case B) 定限時SVR1および積分値SVR2

case Bの判定式iiは，（16）式に示すように変数β_2に比例する関数となる。PVが配電系統に大量導入されると，$Z_2 \Delta P_{PV} > \varepsilon_{SVR2} V_{BASE}$が成り立ち，不等号の向きは固定される。不等号から境界線の下部がハンチング頻度の中領域となる。なお，β_2以外は定数である。

$$\Delta P_{PV} < \left[\frac{V_{BASE}^2}{100 \alpha_1 Z_2}\right] \times \beta_2 + \left[\frac{\varepsilon_{SVR2} V_{BASE}}{Z_2}\right] \quad (16)$$

$$(\because Z_2 \Delta P_{PV} > \varepsilon_{SVR2} V_{BASE})$$

(case C) 積分値SVR1および定限時SVR2

case Cの判定式iiは（17）式に示すようにα_2に反比例する関数となる。ここでα_2，Z_1，V_{BASE}は正の値なので$\alpha_2 Z_1 / V_{BASE} > 0$となり，不等号の向きは固定される。不等号から境界線の上部がハンチング頻度の中領域となる。なお，α_2以外は定数である。

$$\Delta P_{PV} > \left[\frac{\beta_1 V_{BASE}^2}{100 Z_1}\right] \times \frac{1}{\alpha_2} + \left[\frac{\varepsilon_{SVR1} V_{BASE}}{Z_1}\right] \quad (17)$$

$$(\because \alpha_2 Z_1 / V_{BASE} > 0)$$

3.2 動作時間整定手法

一般的な動作時間整定手法では，ハンチング抑制のため，SVR1に対してSVR2の動作時間整定値を整定刻みで1つ大きい値に設定する。なお，整定刻みは，定限時動作方式では15～30秒であり，積分値動作方式では40%秒である。

本検討の手法は，はじめに既存の動作時間整定値に対して，前述の判定式iでハンチング頻度が低か否か，判定式iiでハンチング頻度が中か高かを推定しておく。次にハンチング頻度が高と推定された場合には，中になるまで動作時間整定値を整定刻みの間隔で大きい値に順次調整する。

4 あとがき

SVRの動作原理をもとに，簡略化したモデル系統により，多段設置された2台のSVR間のハンチング発生条件を定式化した。そして，PV出力変動を考慮した動作時間整定値ごとのハンチング発生頻度を低，中，高の3段階で推定する手法について検討した。今後は実系統での検証を行いたい。

[参考文献]
中谷，渡辺，柴丸，田部，石川，小山；電気学会研究会資料「SVR動作時間整定のためのハンチング頻度推定手法」PE-15-108，PSE-15-130（2015）

執筆者からひとこと

お客さまに良質な電気をお届けするために，これからも配電線の電力品質を維持する研究に取り組みます。

汎用CFD技術による水力発電所取水構造物周辺の流況再現

エネルギア総合研究所　土木グループ　井上　智子

1 まえがき

当社は99箇所の水力発電所を有しており，安定した供給力として期待できる優れた電源として活用されている。水力発電所では，発電に必要な取水構造物を河川内に設置し，安定的に取水を行う必要がある。その取水構造物は，河川流量が大きく変化した場合も安定した取水を維持できるように設計・運転され，電力の安定供給に貢献している。河川流量の増加に伴い，取水口入口に設置したスクリーンを経由して取水される流況も変化する。河川流量が多くなる出水時に河川から取水口への流況は複雑となるが，中小規模の取水設備については，その設備規模のため詳細に検討した事例は少ない。

近年，ソフトウェア・ハードウェアの急速な進歩に伴い，流体解析（Computational Fluid Dynamics，以下「CFD」）技術が広範囲な分野で活用されている。

本研究では取水構造物周辺の流況を汎用的なCFD技術を用いて広範囲に再現し，定量的に評価する手法に関する取り組みを行っている。本レポートでは，非出水時および出水時における河川上流域を含めた，モデル取水口周辺の流況解析による再現結果について紹介する。

2 概　　要

解析対象としたモデル河川を写真１に示す。河川は取水堰上流約400mの区間を数値モデル化した。（図１）モデル取水口は，設計取水量31㎥/s，取水口幅21m，典型的な流れ込み式のものである。（図2）取水口のスクリーンは，幅9㎜のスクリーンバーが34㎜間隔で配置されている。解析パターンを表１に，解析条件を表２に示す。流況は定常解析とし，乱流モデルは非線形低レイノルズ数k-εを適用した。

表１　解析パターン（流量）

解析ケース	河川流量(㎥/s)	取水量(㎥/s)	魚道・維持流量(㎥/s)	放流量(㎥/s)
非出水時	33	31	2	–
出水時①	100	31	4.6	64.4
出水時②	150	31	4.6	114.4

壁面や底面には静止壁条件を水面部分は壁面抵抗がないフリースリップ条件を与えた。また，水面変動は考慮しない。計算格子は0.1mに設定した。またスクリーンバーについては簡易的に圧力損失のみを考慮してモデル化した。

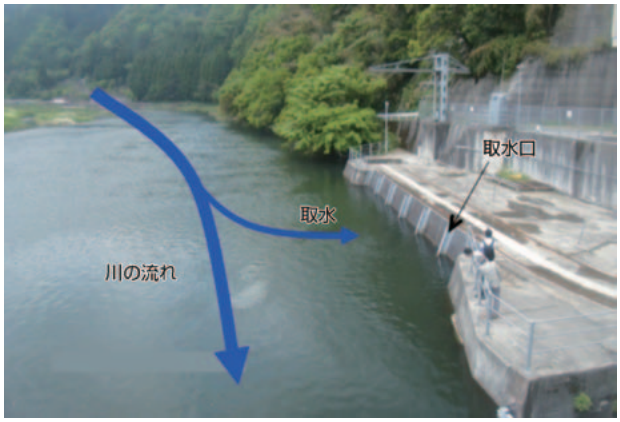


写真1　モデル地点河川状況

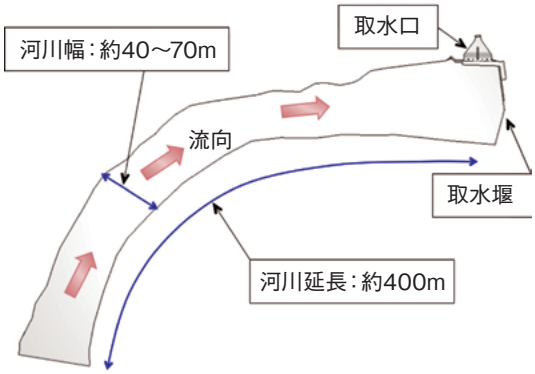


図1　河川モデル概要

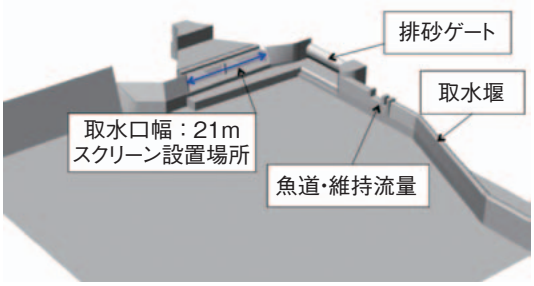


図2　取水口モデル概要

表2　モデル河川と取水口解析条件

条件項目	設定内容
解析方法	定常解析
乱流モデル	非線形低レイノルズ数k-ε
壁面条件	壁面・底面：静止壁（対数則条件を適用）
水面条件	固定水面とし水面変動考慮せず
計算格子	0.1mメッシュ

3 研究成果

(1) 非出水時の流況解析結果

非出水時の流況解析結果を図３，４に示す。図中の矢印は流速ベクトルを表している。河川平均流速は0.2m/s程度であり緩やかな流れとなっている。取水口前面の平均流速は0.3m/s程度となり，取水口に安定的に取水されている。図3，図4の流況を見る限り非出水時における大まかな河川および取水口の流況が再現できていると推察される。

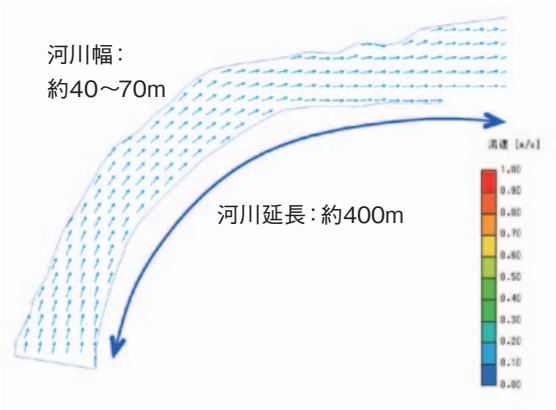


図3　非出水時の河川解析結果

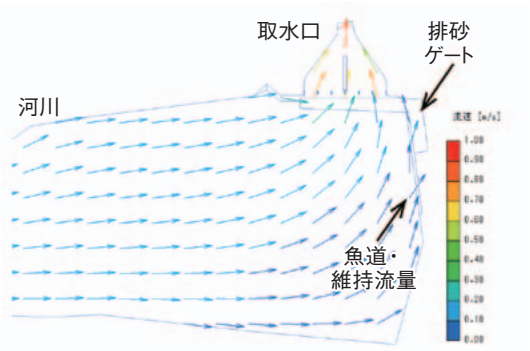


図4　非出水時の取水口解析結果

(2) 出水時の流況解析特性

出水時の流況解析のうち100㎥/sの解析結果を図5，150㎥/sの解析結果を図６に示す。100㎥/sおよび150㎥/sの解析は非出水時と比べて排砂ゲートから放流される流れが支配的になる。100㎥/sの解析では流速ベクトルが取水口流入方向に対し40°程度傾斜している。150㎥/sの場合は，流速ベクトルが取水口へ55°程度まで傾斜している。これより出水時においてはゲート放流に伴い取水口流入角度が非出水時に比べ大きくなる傾向が再現された。現地でも同様の現象が観察されており，この現象が本解析で再現されていると考察される。

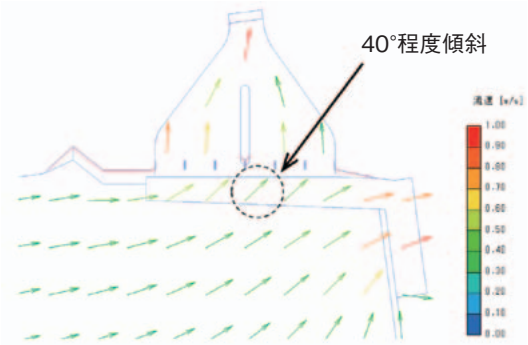


図5　出水時（100㎥/s）の取水口解析結果

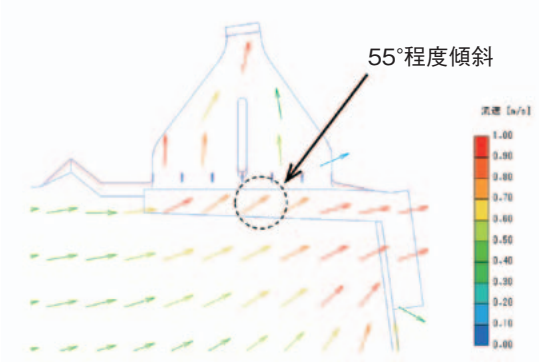


図6　出水時（150㎥/s）の取水口解析結果

4 あとがき

汎用的なCFD技術を用いて，河川上流域を含めたモデル取水口周辺における非出水時および出水時の流況解析を実施し，流速や流況を定量的に評価できることが確認された。

今後，汎用CFD技術の活用により，これまで解析対象とされなかった中小規模の河川構造物についても容易に解析でき，詳細な設備設計が可能になると思われる。

執筆者からひとこと

汎用CFD技術を使用して誰でも容易に解析ができるよう研究に取り組みます。

蒸気タービン鋳鋼経年材の脆化特性

エネルギア総合研究所　機械・材料グループ　松村　栄郎

1 まえがき

蒸気タービンの車室・弁など長期間高温で使用される機器では，クリープ等の損傷が顕在化していない場合でも，強度低下を招く軟化や脆化等の材質劣化は徐々に進行するため，これらの劣化状態を把握することが破損を未然に予防するために必要である。

使用温度が500℃を超える高温部では，軟化が進行することにより引張強度やクリープ強度が低下することが報告されているが，これまでの研究は，累積運転時間が10万～20万時間程度の長期使用部材を対象としたものであったため，さらに長期間使用した場合に脆化が進行するかなど，将来の運用管理に必要となる知見が得られていない。

本研究では，火力発電所において30万時間以上使用された組み合わせ再熱弁廃材より採取した使用材，およびそれを加熱時効処理して約40万時間の使用を模擬した時効材を用いて，硬さ試験，組織観察およびシャルピー衝撃試験を実施し，軟化および脆化の度合いを明らかにするとともに，高温での長期使用が脆化に及ぼす影響を検した。

2 概　要

(1) 供試材料

供試材料は蒸気温度538℃の条件で31.4万時間使用された組み合わせ再熱弁廃材である。供試材料の外観を写真１に示す。材質はCrMoV鋳鋼であり化学組成を表１に示す。バナジウムを0.1パーセント程度含有し，リン，硫黄などの不純物元素も含まれている。

図１の点線で囲んだ部分から試験材の切出しを行った。廃材から切出したままの試験材（以下，長期使用材）と，同材を585℃で4,457h加熱時効し，さらに10万時間運転して累積運転時間が41万時間での状態を模擬した試験材（以下，加熱時効材）を用いて試験を行い，加熱時効前後の比較を行った。

写真1　長期使用された蒸気タービン弁の外観

表1　長期使用された鋳鋼材の化学組成［wt%］

C	Si	Mo	P	S	Ni	Cr	Mo
0.14	0.39	0.75	0.008	0.010	0.10	1.09	1.05
Cu	V	Al	Ti	Sn	As	Sb	
0.13	0.10	0.003	0.01	0.019	0.028	0.0040	

(2) 硬さ試験

硬さの変化を把握するため硬さ試験を行った。測定は長期使用材，加熱時効材の弁内表面から10㎜の部位において，ビッカース硬さ試験機を用いて行った。

(3) 組織観察

炭化物粗大化の傾向を観察するため，試験材の金属組織を光学顕微鏡を用いて観察するとともに，抽出レプリカを採取し透過型電子顕微鏡にて観察を行った。また，転位（結晶中に存在する線状欠陥）の変化を観察するため，薄膜試料を採取し透過型電子顕微鏡により観察を行った。

(4) シャルピー衝撃試験

脆化度の変化を把握するためシャルピー衝撃試験を実施した。試験は弁内表面近傍から採取した試験片に対し，シャルピー衝撃試験機を用いて実施した。試験後の破面は走査型電子顕微鏡を用いて観察し，破壊形態の確認を行うとともに，試験温度に対する延性破面率のカーブを作成し延性破面率が50％になる温度を求めることにより，脆化の指標である延性脆性破面遷移温度（FATT）を求めた。

3 研究成果

(1) 硬さ

長期使用材の硬さは178Hvで加熱時効材の硬さは175Hvであった。本供試材の初期硬さは明らかでないが，CrMoV鋳鋼の初期硬さが200Hv程度であることから，長期使用により顕著な軟化を生じていると推測される。また，加熱時効材はさらに軟化が進んだものとみなせる。

(2) 組織観察

加熱時効前後の組織を光学顕微鏡で観察した写真を写真2に示す。両材とも粒界に粗大化した炭化物が認められ，加熱時効材では炭素の抜けた白く見える部分の割合が増加していた。

写真3に抽出レプリカの透過型電子顕微鏡観察写真を示す。両材とも粒界，粒内に炭化物の析出や凝集が認められるが，加熱時効材において粒界に炭化

物が凝集粗大化している様子が顕著に観察された。

写真4に薄膜試料の透過型電子顕微鏡観察写真を示す。両材とも粒内の微細セルに転位が確認できるが，転位密度の低いセルも存在している。CrMoV鋳鋼新材の転位密度が高いことを勘案すると，長期使用材は転位組織の回復（拡散，すべりによる転位密度の減少）が進んでいる可能性がある。加熱時効材では，若干セル径が大きく転位密度も低い傾向にあることから，さらに回復が進んでいる可能性がある。

粒界への炭化物の凝集粗大化，転位組織の回復により，長期使用材，加熱時効材の硬さが低下したものと推察される。

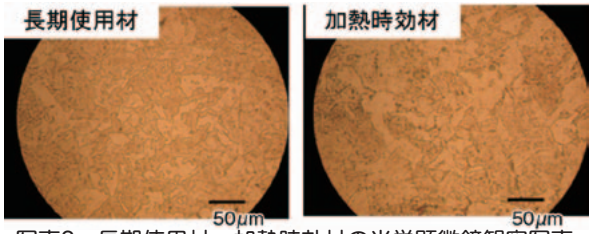


写真2　長期使用材，加熱時効材の光学顕微鏡観察写真

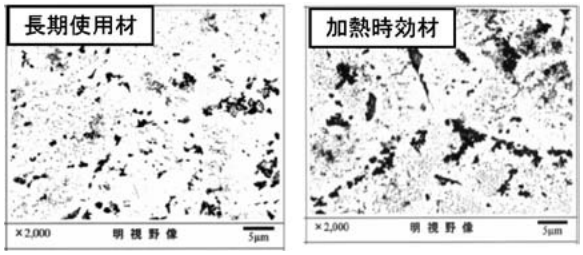


写真3　抽出レプリカの透過型電子顕微鏡観察写真

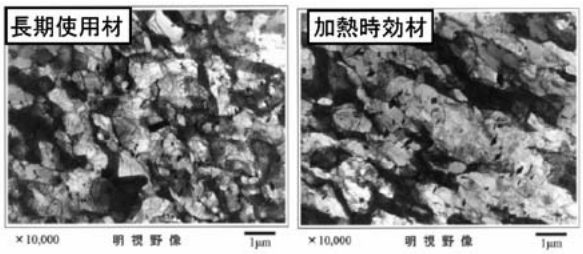


写真4　薄膜試料の透過型電子顕微鏡観察写真

(3) シャルピー衝撃試験

シャルピー衝撃試験より得られた試験温度と吸収エネルギーの関係を図1に，試験温度と延性破面率の関係を図2に示す。長期使用材のFATTは58℃であった。本供試材の初期FATTは明らかでないが，CrMoV鋳鋼の初期FATTが100℃程度であることから，長期使用によりFATTが低下している可能性が高い。

加熱時効材のFATTは35℃であり，長期使用材のFATT58℃より低下している。このことは，高温での長期使用が必ずしも脆化を招くとは限らず，30万時間以上の長期使用では，粒内の軟化が進行することによりFATTが減少する，すなわち延性が増大する場合があることを示している。

シャルピー衝撃試験片の破面のうち，脆性破面を走査型電子顕微鏡で観察した結果の代表例を写真5に示す。両材とも脆性破面中に粒内へき開破面と粒界へき開破面が混在していることが観察された。

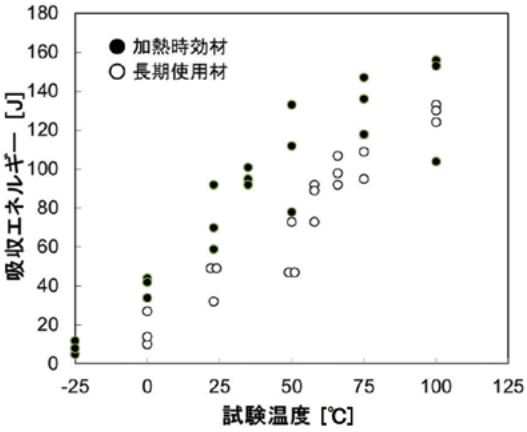


図1　試験温度と吸収エネルギーの関係

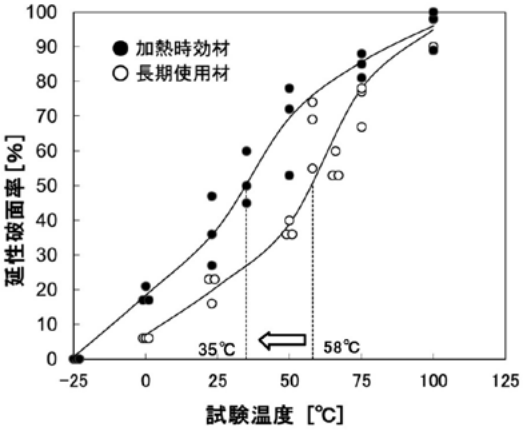


図2　試験温度と延性破面率の関係

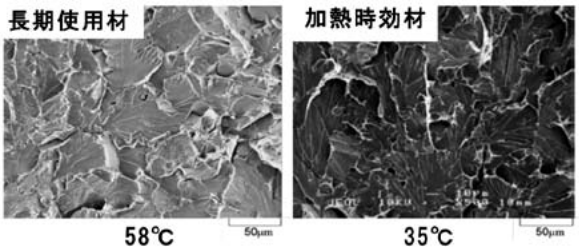


写真5　シャルピー衝撃破面の走査型電子顕微鏡観察写真（FATT温度での試験結果）

両材の差異を明確にするため，脆性破面中の粒界破面の割合（粒界破面率）と温度の関係を図３に示す。長期使用材ではバラツキはあるが，おおむね粒界破面率は30%程度である。加熱時効材の粒界破面率は，長期使用材に比べ明らかに小さく10%以下であった。これは加熱時効により，粒内炭化物のさらなる粗大化や転位組織の回復を生じ，硬さが低下したことにより，同一温度での脆性破壊時に粒界へき開破壊を生じにくくなったことを示唆している。

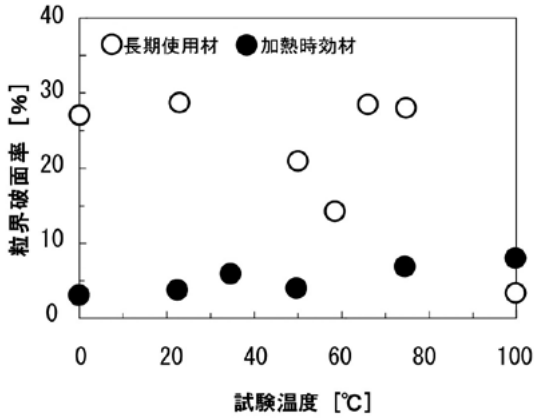


図3 粒界破面率と試験温度の関係 (1)

(4) 考察

30万時間超使用された長期使用材，40万時間超の使用を模擬した加熱時効材に対するシャルピー衝撃試験結果，破面観察結果およびこれまでの研究 (2) - (4) で得られている知見に基づき，長期使用に伴う脆化特性の変化について考察する。

本研究で観察されたシャルピー衝撃試験後の試験片の破面から，衝撃試験における破壊の状態を模式的に示すと図4のようになる。

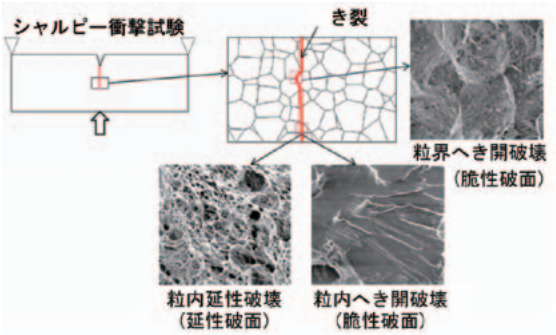


図4 シャルピー衝撃破面の形態

脆性破面が100%占める低温域では，粒内へき開破面と粒界へき開破面が観察された。脆性破面と延性破面が混在するFATT近傍の温度では，試験片外周部は塑性変形を生じるため粒内延性破面となり，試験片中央部の脆性破壊領域では，粒内へき開および粒界へき開破面が観察された。FATTを超える高温域では全て粒内延性破面であった。

脆化を示す指標であるFATTの上昇は，脆化が進行することにより脆性破面中の粒界へき開破面の割合が増加することにより生じることが，これまでの研究で明らかにされている (2) (4)。本研究では，シャルピー衝撃試験での破壊形態を決定づける力学量として，粒内強度，粒界強度および塑性変形抵抗（0.2%耐力と考えてよい）を考える。すなわち，図4において，粒内強度が粒内へき開破壊を，粒界強度が粒界へき開破壊を，塑性変形抵抗が粒内延性破壊を生じるかの尺度になると仮定する。長期使用によって脆化が進行するかは，粒内強度，粒界強度，塑性変形抵抗の関係がどのように変化するかによって決まることとなる。

低温域で粒内へき開破壊を生じるのは，粒内強度が他の強度に比べて低いためであり，温度が上昇するにつれて塑性変形抵抗が低下することにより，延性破面が増大することとなる。FATT温度近傍では粒内強度と塑性変形抵抗が拮抗する状態にあると見なすことができる。新材で脆性破面が粒内へき開であることは，粒界強度に比べ粒内強度が低いことを示唆している。これらの強度と温度との関係は，模式的には図5中の黒線と青線により示され，粒内強度と塑性変形抵抗の交点の温度がFATTとなる。

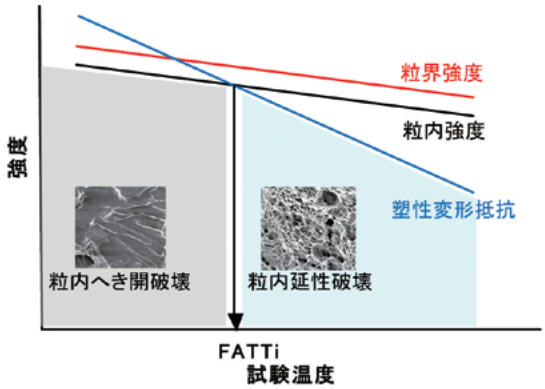
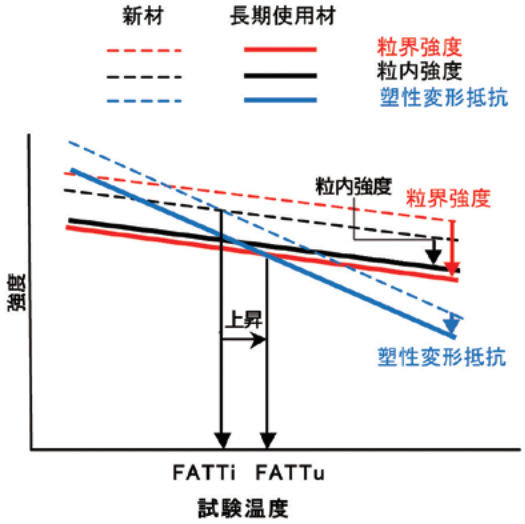


図5 試験温度に対して現れる破面，強度の変化

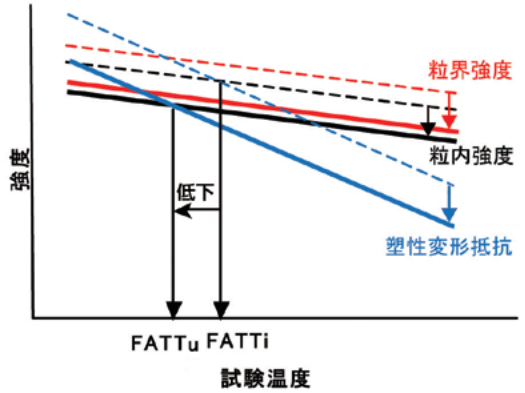
先に示したように，長期使用に伴い粒内炭化物の粗大化や転位の回復が進むにつれて，これらの強度は徐々に低下すると考えられるが，その低下度合は使用温度と時間に依存する。これまでの研究では，400℃程度の中温域で10万時間程度使用された場

合，粒界へのリンなどの偏析により粒界強度が低下するが，高温域では偏析速度は速いが偏析量の飽和値は低くなることが示されている[(2)]。この場合，図6 (a) 中の太線のように変化したものと考えられる。

本供試材のように500℃程度以上の高温で長期間使用された場合，粒内強度および粒界強度の低下に比べ塑性変形抵抗の低下が大きく，図6（b）中の太線のように変化したものと考えられる。



(a) FATTが増加する場合



(b) FATTが減少する場合

図6 長期間使用した場合の強度，FATTの変化

また，長期使用材で脆性破面中に粒界破面が観察されたことから，粒内強度に比べ粒界強度の低下が大きかったものと推察される。さらに超長期使用を模擬した加熱時効材では，粒界破面率は小さくなりFATTが低下したことから，粒界強度の低下に比べ粒内強度ならびに塑性変形抵抗の低下が進んだことを示唆している。これらのことを勘案すると，高温で30万時間を超えて使用される場合には，塑性変形抵抗の低下が顕著に進むことにより，延性の回復が回復するものと考えられる。

4 あとがき

本研究では，30万時間以上使用された組み合わせ再熱弁より採取した試料およびそれを加熱時効処理した試料を用いて脆化度等の調査を行い，長期使用に伴う脆化の影響を検討した。

長期使用材の硬さは，新材の硬さより低下していると推測され，加熱時効材の硬さも長期使用材に比べ低下していた。

長期使用材のFATTは新材のFATTより低下していると推定され，加熱時効材のFATTも長期使用材に比べさらに低下していた。

長期使用および加熱時効によるFATTの低下は，粒内強度や粒界強度が低下しただけでなく，それ以上に炭化物の粗大化や転位の回復が進行し，塑性変形抵抗が低下したことによると考えられた。

本供試材を41.8万時間以降も使用し続けた場合，軟化が進行するとともに脆化度は回復すると考えられ，き裂が発生しても脆化が原因でき裂進展が加速する可能性は低いと考える。

[参考文献]
(1) 緒方隆志，荒川大輔，松村栄郎，西田秀高，“30万時間超使用後のCrMoV鋳鋼製タービン蒸気弁の脆化評価”，材料（投稿中）
(2) 志賀正男，佐々木良一，桐原誠信，幡谷文男，篠田哲守，青木逸郎，“高温で長時間使用した蒸気タービンケーシングおよびロータ材の機械的性質”，材料，Vol.33，No.366，pp.298-303（1984）
(3) 沢田進，大橋建夫，“焼きもどし脆化した低合金鋼の脱脆化挙動について”，鉄と鋼，Vol.62，No.6，pp.644-651（1976）
(4) 勝亦正昭，木下修司，“焼きもどし脆化した鋼の破面観察に関する2，3の考察”，鉄と鋼，Vol.61，No.8，pp.2051-2060（1975）
(5) 松村栄郎，荒川大輔，西田秀高，緒方隆志，“蒸気タービン鋳鋼経年材の脆化特性”，第53回高温強度シンポジウム前刷集，pp.121-125（2015）

執筆者からひとこと

材料特性に応じて更新するかを判断することが大切です。今後も現場で役立つ技術の開発を続けます。

将来のエネルギー価格見通し（2016）

エネルギア総合研究所　経営支援グループ　池田　　優

1 はじめに

日米欧の代表的なエネルギー調査機関[1]は毎年，将来の原油・天然ガス等の価格見通しを発表している。各機関が2015年に発表した価格見通しとその背景について，2014年発表のものと比較しながら紹介する。

2 2015年に発表された価格見通しの概要

原油価格については，当面は需給緩和により低い水準で推移するが，長期的には堅調な需要の増加により2014年見通しと同水準まで上昇する見通しである。

天然ガス価格については，日本向けLNG価格は原子力発電所の停止により発生している追加需要が減少するにつれ短期的には低下し，開発コストの上昇により長期的には2014年見通しと同水準まで上昇する見通しである。

なお，各機関の発表時期は2015年4月から11月であるため，一時30ドル台まで下落した足元の原油価格相場は見通しに反映されていない点に注意いただきたい。

3 原油価格見通し

価格見通しは経済成長などの前提条件を基にいくつかのシナリオやケースを想定し行われている。

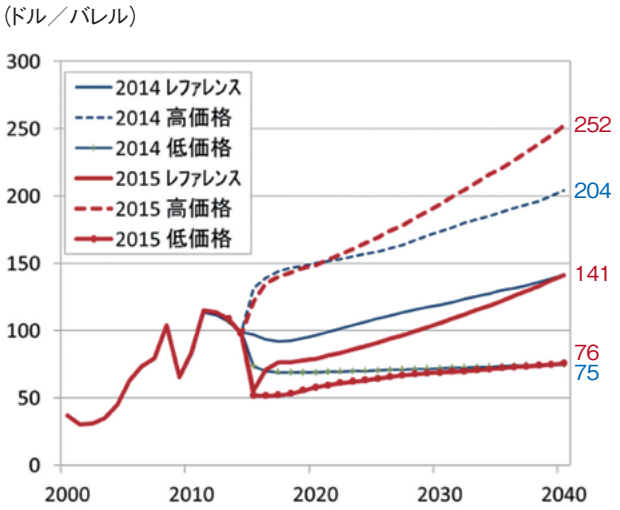
2015年見通しは，各機関とも需給緩和に伴う2014年後半からの価格急落を反映し，当面は2014年見通しと比べ低い水準で価格が推移するとの見通しを示している。しかし，長期的には各機関とも2014年見通しと同水準まで上昇するとしている。

(1) 米国エネルギー情報局（EIA）

EIAは米国エネルギー省のエネルギーに関する情報収集と分析を専門に行う組織である。例年，米国内のエネルギー見通し（AEO：Annual Energy Outlook），世界のエネルギー見通し（IEO：International Energy Outlook）を発表している。原油価格については，Brent原油（北海油田で産出される硫黄分の少ない軽質油）を世界の原油価格指標として分析している。

AEO2015では2040年時点でBrent価格が76～252ドル/バレルになるとの見通しを示している（図表1）。2014年見通しと比較すると，2015年見通しは2014年後半からの価格急落を受け，当面の原油価格水準は大きく引き下げられ，中期的にも下方修正が行われる結果となっている。

しかし，長期的には今回の価格急落の影響は薄れ，2014年見通しと同水準となっている。これは，今後の需要拡大に対応するため，より高コストの資源開発が必要となるためとしている。



注：2014年見通しは2012年実質価格換算値，2015年見通しは2013年実質価格換算値であるため，単純な比較はできない
出所：EIA「AEO2014」「AEO2015」に掲載されているデータを基に筆者作成

図表1　EIAの原油価格見通し

レファレンスケースでは，米国の原油生産量の伸びが今後も続くと想定し，短期的には下落するが，非OECD諸国の需要拡大によって2040年には141ドルまで上昇するとしている。

高価格ケースでは，レファレンスケースに比べ非OECD諸国の需要拡大，OPEC諸国の資源開発投資低迷，非OPEC諸国の資源開発コスト上昇を想定し，2040年には252ドルまで上昇するとしている。

低価格ケースでは，逆にレファレンスケースに比

1 日米欧の代表的な調査機関
【日本】日本エネルギー経済研究所（IEEJ：Institute of Energy Economics, Japan）
【米国】米国エネルギー情報局（EIA：U.S. Energy Information Administration）
【欧州】国際エネルギー機関（IEA：International Energy Agency）

べ非OECD諸国の需要が伸び悩み，OPEC諸国の資源開発投資拡大，非OPEC諸国の資源開発コスト低下を想定し，2040年に76ドルまで緩やかに上昇するとしている。

(2) 国際エネルギー機関（IEA）

IEAはOECD加盟国を中心に，エネルギー安全保障を確立することを目的として第1次オイルショック後の1974年に設立された組織である。例年，世界のエネルギー見通し（WEO：World Energy Outlook）を発表している。原油価格については，IEA加盟国の平均輸入価格について分析している。分析方法は各国の気候変動への取り組み状況に応じたシナリオで行っており，以下の4つのシナリオを用いて価格の見通しを示している。

◆現行政策シナリオ
2015年時点で実施されているもの以外，新たな追加政策が実施されない場合
◆新政策シナリオ
未だ具体化されていないものも含め，直近の各国政府の政策公約が着実に実施される場合
◆450シナリオ
大気中の温室効果ガスのCO_2換算濃度を450ppmに抑え，世界の平均気温の上昇を2050年までに2℃以内に抑えるためにあらゆる手段が実施される場合
◆低原油価格シナリオ
世界経済の成長鈍化，OPEC諸国のシェア拡大，非OPEC諸国の生産継続を背景に原油の低価格が長引く場合

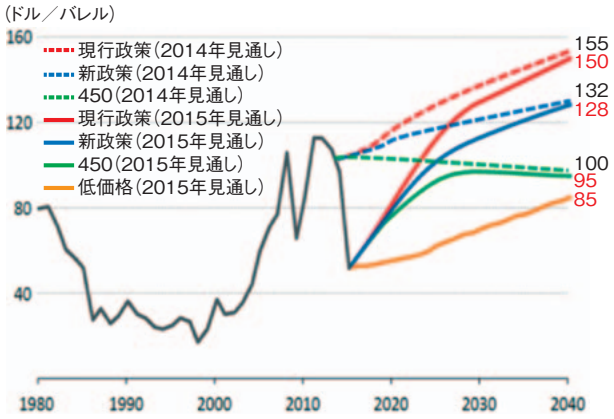
WEO2015では，2040年時点で平均輸入価格が85～150ドル/バレルになるとの見通しを示している（図表2）。2014年見通しと比較すると，2015年見通しは足元の原油価格下落を反映し，当面の価格水準は大きく引き下げられているが，長期的には徐々に差が縮まっている。

現行政策シナリオでは，需要拡大に伴う非OPEC諸国の高コスト原油の開発により2040年に150ドルまで上昇するとしている。

新政策シナリオでは，現行政策シナリオよりも緩やかに2040年に128ドルまで上昇するとしている。

450シナリオでは，積極的な温暖化対策の推進により需要の伸びが抑制され，2040年でも95ドルに上昇するにとどまるとしている。

低原油価格シナリオでは，新政策シナリオに比べ新興国の需要の伸び悩み，OPEC諸国の低コスト原油の生産，非OPEC諸国の低価格での生産継続を想定し，2020年に55ドル，2040年に85ドルまで緩やかに上昇するとしている。



注：1. 2014年見通しは2013年実質価格換算値，2015年見通しは2014年実質価格換算値であるため，単純な比較はできない
2. 図表の日本語表示箇所，2014年見通し価格は筆者編集
資料：IEA「WEO2014」「WEO2015」

図表2　IEAの原油価格見通し

(3) 日本エネルギー経済研究所（IEEJ）

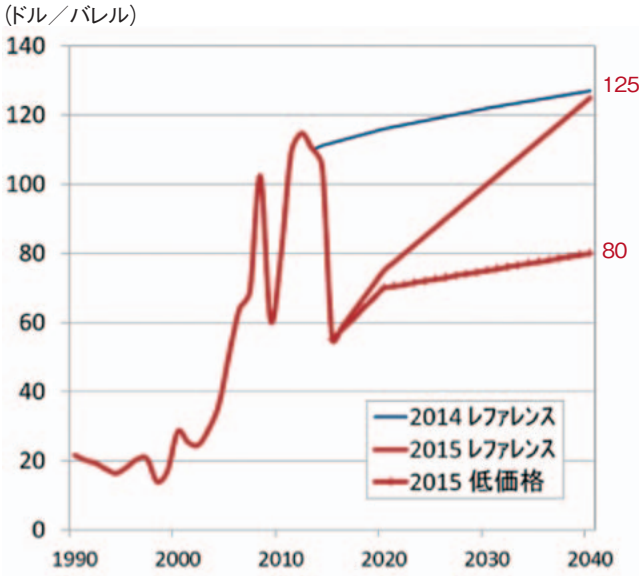
IEEJは日本を代表するエネルギー分析・調査機関である。例年，世界のエネルギー見通し（A/WEO：アジア/世界エネルギーアウトルック）を発表している。A/WEOでは原油価格の見通しがCIF価格[2]ベースでの算定となっているため，日本国内の事業における事業計画や業績見通しなどを算定する際の諸元として直接利用可能となっている。

A/WEO2015では，CIF価格は2040年時点で80～125ドル/バレルになるとの見通しを示している（図表3）。2014年見通しと比較すると，2015年見通しは足元の価格下落を反映し，当面の価格水準は大きく引き下げられているが，長期的には2014年見通しと同水準となっている。

レファレンスケースでは，2020年で75ドル，2040年で125ドルになるとしている。需要については，中国をはじめとする新興国経済が堅調に推移し，モータリゼーションの進展で増加を続けるとし

2　CIF価格：Cost, Insurance and Freightの略で船積み価格に輸送コストや保険料を含めた荷揚げ地の港で荷揚げするまでの価格

ている。供給については，今後のOPEC諸国の増産可能性をふまえても，既存油田の生産減退で一定の高コスト原油の生産が必要となるとしている。



注：2014年見通しは2013年実質価格換算値，2015年見通しは2014年実質価格換算値であるため，単純な比較はできない
出所：IEEJ「A/WEO2014」「A/WEO2015」に掲載されているデータを基に筆者作成

図表3　IEEJの原油価格見通し

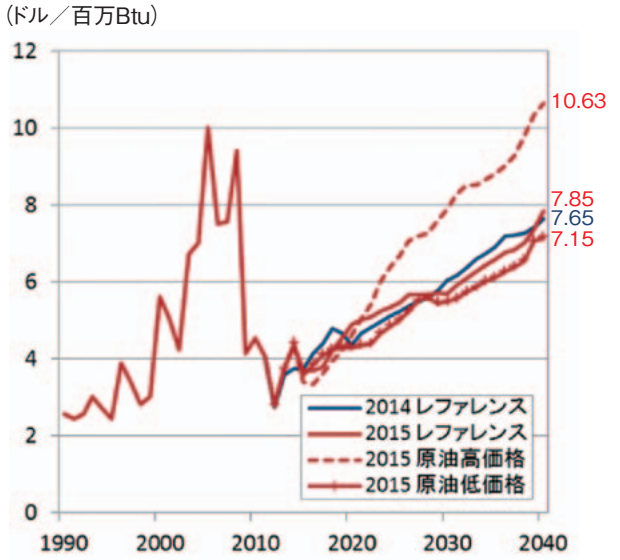
低価格ケースでは，2020年で70ドル，2040年でも80ドルにとどまるとしている。これは足元の低価格は，短期的には需要喚起と非OPEC諸国を中心とする高コスト油田の生産抑制によって上昇に転じるが，長期的には非在来型原油の大幅な増産や需要の伸び率の低下によって価格の上昇が抑制され続けるとの考えに基づいている。

4 天然ガス価格見通し

天然ガスは日米欧の地域間で価格に差が生じており，各機関で分析している価格指標も異なるため，見通しは様々となっている。しかし，地域の価格差については，供給量や取引市場の拡大により今後ある程度縮小していくとの見通しが示されている。

(1) 米国エネルギー情報局（EIA）

EIAは，米国内での天然ガス取引基準価格（ヘンリーハブ価格）について分析しており，AEO2015では2040年時点で7.15～10.63ドル/百万Btu[3]になるとの見通しを示している（図表4）。



注：2014年見通しは2012年実質価格換算値，2015年見通しは2013年実質価格換算値であるため，単純な比較はできない
出所：EIA「AEO2014」「AEO2015」に掲載されているデータを基に筆者作成

図表4　EIAの天然ガス価格見通し

2014年見通しと比較すると，レファレンスケースでは2015年見通しはほぼ同水準で推移している。国内外の需要拡大により高コストの資源開発が必要となるため，2020年に4.88ドル，2040年に7.85ドルまで上昇するとしている。

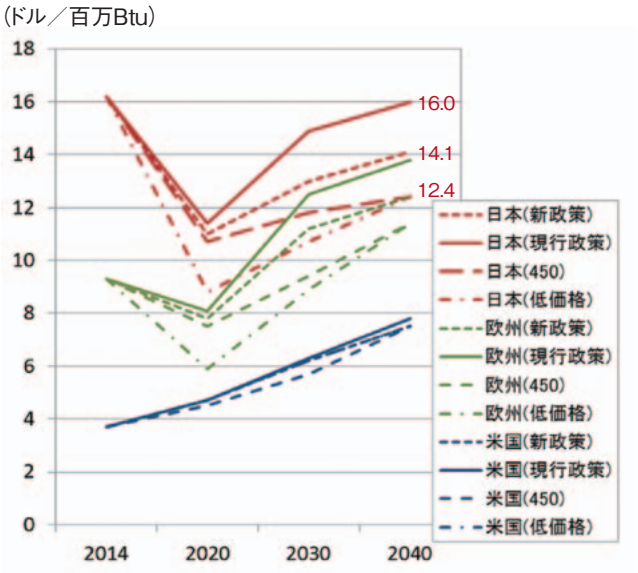
原油高価格ケースでは，2020年まではレファレンスケースと同水準で推移するが，その後は米国外の需要拡大により2040年に10.63ドルまで上昇するとしている。

原油低価格ケースでは，逆に米国外の需要の伸び悩みにより2040年に7.15ドルまで上昇するにとどまるとしている。

(2) 国際エネルギー機関（IEA）

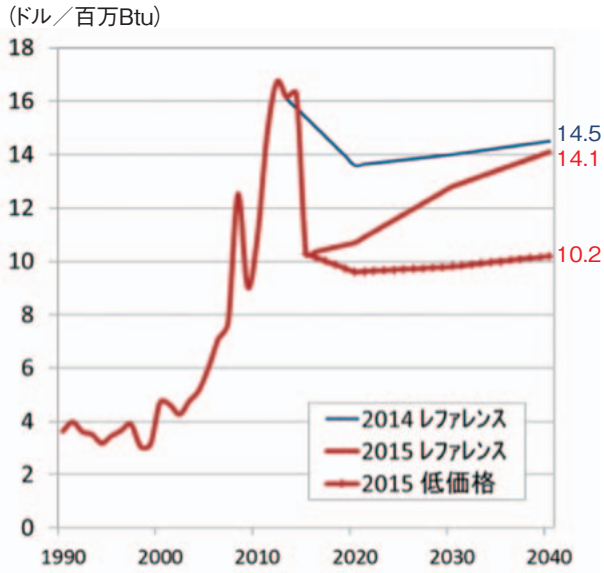
IEAでは日米欧における天然ガス輸入価格について，先に示した4つのシナリオごとに分析をしており，WEO2015では2040年時点で日本：12.4～16.0ドル/百万Btu，欧州：11.4～13.8ドル/百万Btu，米国：7.5～7.8ドル/百万Btuになるとしている（図表5）。

3 Btu：British Thermal Unitの略で約0.25kcal



注：2014年実質価格換算値を使用
出所：IEA「WEO2015」に掲載されているデータを基に筆者作成

図表5　IEAの天然ガス価格見通し



注：2014年見通しは2013年実質価格換算値，2015年見通しは2014年実質価格換算値であるため，単純な比較はできない
出所：IEEJ「A/WEO2014」「A/WEO2015」に掲載されているデータを基に筆者作成

図表6　IEEJのLNG価格見通し

2014年見通しと比較すると，日本の価格水準は低下，欧州は同水準，米国はわずかに低下するとの見通しが示されており，結果，地域間の価格差は縮小するとしている。

日本は原子力発電所の停止により発生している追加需要が減少するにつれ，短期的には価格は低下するとしている。しかし，長期的には天然ガスの採掘コストの上昇とともに価格は上昇していくとしている。

低原油価格シナリオでは，取引価格が原油価格連動から需給を反映した形への移行が加速され，日本と欧州では他のシナリオに比べ価格が大幅に低下することが想定されている。

(3) 日本エネルギー経済研究所（IEEJ）

IEEJは日本向けのLNG価格について分析しており，A/WEO2015では2040年時点で10.2～14.1ドル/百万Btuになるとの見通しを示している（図表6）。

2014年見通しと比較すると，2015年見通しは足元の原油価格急落の影響を受け，当面の価格水準は大きく引き下げられているが，長期的には2014年見通しと同水準程度となっている。

レファレンスケースでは，米国からのシェールガスの輸入がアジア向けLNG価格の割高問題の解消・低減に貢献し，2014年の16.3ドルから2020年は10.7ドルまで下落する。しかし，開発および生産コストの上昇に伴い，現在の記録的な安さからは上昇し，2040年には14.1ドルまで上昇するとしている。

低価格ケースでは，原油価格の低水準での推移に伴い，2020年に9.6ドルまで下落し，その後2040年に10.2ドルまで横ばいで推移するとしている。

5 おわりに

中国経済の減速などで需要が低迷する中，米国と中東の産油国との生産競争で供給過剰の状態となり，2014年後半から原油価格は急落し，一時30ドル台まで下落した。それでも産油国が協調減産に乗り出す動きは乏しく，原油価格の低迷は長期化する様相を見せている。

エネルギー大消費国でありながらエネルギー自給率の乏しい日本においては，エネルギー価格の変化によって受ける影響が非常に大きいため，各機関の見通しを含め情報収集および情報の見極めを行い，将来生じてくると思われる課題や懸念に備えることが今後とも重要と考える。

（詳細な内容はエネルギア地域経済レポートNo.501（2016.4発行）に掲載）

知的財産交流事業（川崎モデル）における知財紹介について

エネルギア総合研究所（知財）　吾郷　誠二

1 はじめに

当社は，平成27年2月，エネルギア総合研究所内に事業発掘・支援WGを設置し，市場分析・評価を踏まえたビジネスモデル・アライアンスの構築による事業化と異業種交流等を通じた共同開発や新規事業展開の実現を支援するとともに，既得成果の活用についても積極的に推進している。

その一環として，自治体および金融機関が主催する知的財産交流事業（川崎モデル）に参加し，当社の知財紹介を行う取り組みを行っている。

2 知的財産交流事業（川崎モデル）の概要

川崎市では，大企業の知的財産を中小企業に紹介し，自社製品開発等を支援する知的財産交流事業が，全国に先駆けて実施されており，数多くの成果が生まれ，「川崎モデル」として，国や他の自治体から注目されている。

この取り組みは，国の補助事業（中小企業知的財産活動支援事業費補助金）として採択され，「川崎モデル」の知財交流支援を全国に広げる事業が実施されている。

全国の大企業および中小企業等とのネットワークを広げ，中小企業のビジネスチャンスを拡大するとともに，国内モノづくり産業を活性化することを目的に，「金融機関と連携した知財マッチング支援」，「他の自治体と連携した知財交流支援」等の取り組みが行われている。

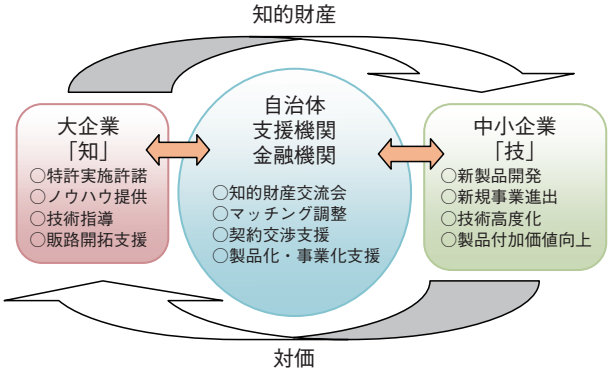


図1　知的財産交流事業のスキーム
（※川崎市報道発表資料）

3 これまでの当社の取り組みについて

(1) 自治体主催の知財交流事業への参加

自治体主催の知財交流事業に参加し，当社特許の中から，他業種で活用が期待でき，汎用性のある特許を５件程度抽出し，知財紹介を行った。（「毛状体走行ロボット」，「待ち時間予測システム」，「条例改正通知システム」等）

また，知財紹介の後，事前に相談を希望された企業と，活用先のニーズや製品化の可能性等について，個別相談会を実施した。

これまでの参加実績は以下のとおりである。

・「平成27年度かわさき知的財産シンポジウム」
　（平成27年7月，川崎市，参加企業70社）
・「知的財産交流事業（川崎モデル）フォーラム」
　（平成27年9月，川崎市，参加企業30社）
・「知財ビジネスマッチング会inとっとり」
　（平成27年9月，鳥取市，参加企業43社）
・「ふくおか知財マッチングin北九州」
　（平成28年1月，北九州市，参加企業61社）
・「川崎モデル知的財産交流会in富士宮」
　（平成28年3月，富士宮市，参加企業39社）

写真1　当社の知財紹介

写真2　参加企業との個別相談会

(2) 金融機関主催のセミナーへの参加

地元金融機関において，中小企業の自社製品開発による事業展開を促進する取り組みが行われており，当社は，金融機関と連携をとり，当社特許を地元企業へ紹介し，製品開発，地域活性化等につなげていくよう取り組んでいる。

平成28年2月，広島信用金庫主催「オープン・イノベーションセミナー」に参加し，当社特許から抽出した20件について，プレゼンテーションおよびパネル展示を行った。(「ガスハイドレートを利用した冷菓」,「毛状体走行ロボット」,「屋上緑化システム」等）（参加企業54社）

図2　セミナー案内

写真3　会場の様子

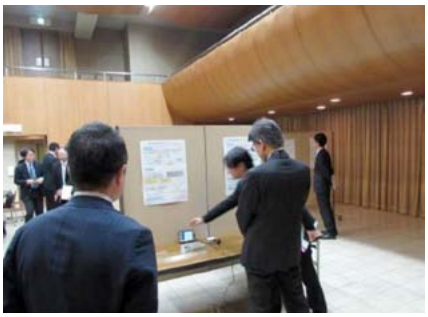


写真4　パネル展示

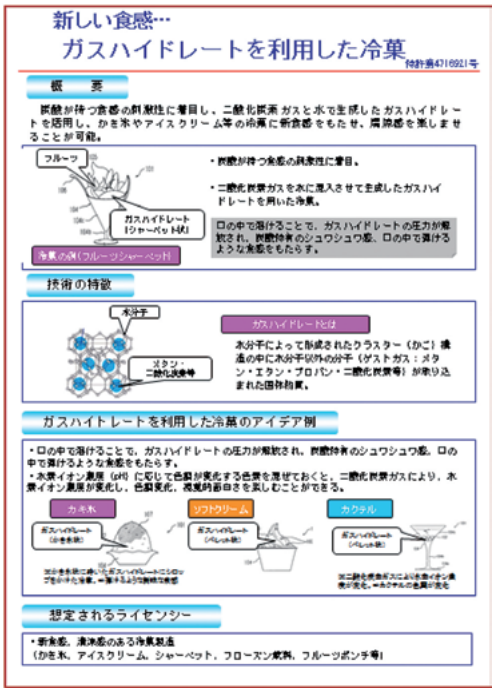


図3　紹介案件の例（パネル展示）
（「ガスハイドレートを利用した冷菓」）

4 紹介案件に対する今後の取り組みについて

上述の知財交流事業において，個別相談会を実施した企業との間で，現在継続して，活用先のニーズや製品化の可能性等を協議している。

今後，関係先と連携・調整をとり，特許のライセンス契約，製品化等につながるよう取り組んでいく。

協議中の主な案件は以下のとおりである。

・「伐採用切断具」　・「屋上緑化システム」
・「切創防止プロテクタ」　・「土嚢袋」
・「ガスハイドレートを利用した冷菓」
・「毛状体走行ロボット」

5 おわりに

本取り組みを通じて，当社特許の有効活用を図るとともに，地域社会の発展，産業の活性化に貢献したいと考えている。

現在，経営企画部門（地域協力グループ）および各支社と協力し，中国経済産業局や各県等と連携を取りながら，知財交流事業の中国地域への展開に向けた取り組みを積極的に行っている。

研究開発成果を社外展示会で広く発信

エネルギア総合研究所　統括グループ　梶本　和宏

1 はじめに

エネルギア総合研究所では，培ってきた研究開発成果や現在の研究について，広く皆さまに情報発信するために，社外主催の展示会や地域イベントに出展している。平成27年度の取り組みについて以下に紹介する。

2 イノベーションジャパン大学見本市

大学等における研究成果の実用化を促進するための，優れた技術シーズと産業界のニーズとのマッチングイベント。山口大学と共同出展。

日　時：平成27年８月27日（木）～28日（金）
場　所：東京ビッグサイト（東京都江東区）
来場者：約100人（会場来場者数：20,662名）

【出展内容】

○プラズマ溶射用ツインカソードトーチ（溶射技術）

当社の開発したプラズマ溶射用ツインカソードトーチは，従来のプラズマ溶射トーチと異なり，プラズマジェット同軸上の中心の最高温部に溶射材料を安定して送給できる「アキシャルフィード方式」のため，効率的に溶射材料を溶かし，性能の向上した皮膜が作製できる。山口大学と共同開発した。

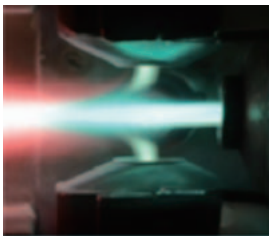


写真1　溶射の状況

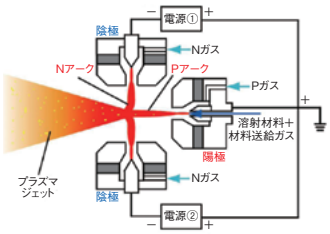


図1　電極構造図

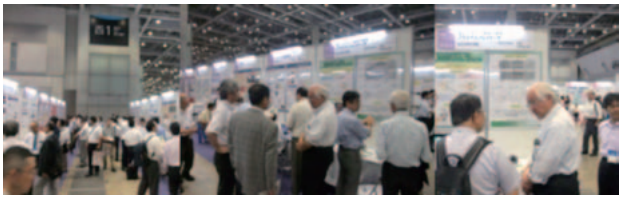


写真2　イノベーションジャパン出展風景

3 エコテクノ2015

西日本最大級の環境・新エネルギー展。環境保全・エネルギー技術を一堂に紹介し，地域産業界の環境意識高揚と環境ビジネスの発展を図る技術展に出展。

日　時：平成27年10月7日（水）～９日（金）
場　所：西日本総合展示場（福岡県北九州市）
来場者：約400人（会場来場者数：28,432人）

【出展内容】

○橋脚および港湾構造物を利用した潮流発電の研究開発

周期的であり予測が可能な「潮流」をエネルギー源とする発電技術を開発する。橋脚や港湾構造物を活用し，低コストな潮流発電システムの実現を目指し，スケールモデル（縮尺模型）を試作し，発電装置の性能や信頼性等を試験・評価する。

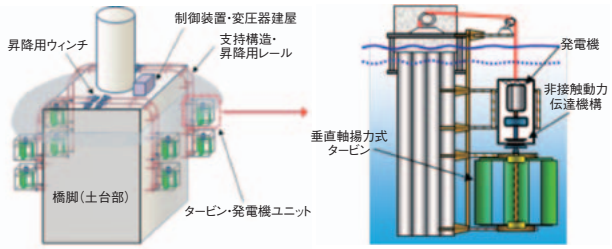


図2　潮流発電システム構成図

○石炭灰を利用した次世代コンクリートの研究

石炭火力発電所から発生する石炭灰を，大量利用が期待できる土木分野での有効活用として，従来のコンクリートとは特性の異なる次世代コンクリート（ジオポリマーコンクリート※）の研究を行い，コンクリート二次製品を試作した。

※石炭灰とアルカリシリカ溶液との反応によりポリマー化することで硬化した物質。KOH（水酸化カリウム）等のアルカリ希釈溶液とSiO_2（二酸化ケイ素またはシリカ）粉末を混合した水ガラス（アルカリシリカ溶液）と石炭灰のほかに，通常のセメントコンクリートでも使用する細骨材（砂）および粗骨材（石）で構成される。

写真3　側溝

写真4　パーキングブロック

○家庭向け節電アドバイスツールの研究

ご家庭のお客さまを対象に，時々刻々と変化する電気の消費状況に合わせて，節電行動をタイムリーに支援する節電アドバイスツールを試作した。将来的には，家庭における電気利用を効率的に運用する総合的なHEMS（Home Energy Management System）の開発に活用する予定。

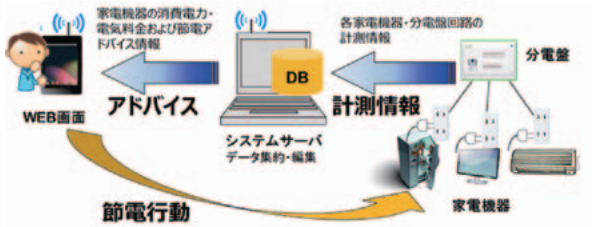


図3　システム構成図

写真5　エコテクノ出展風景

4 再生可能エネルギー産業フェア（REIFふくしま）2015

「再生可能エネルギー先駆けの地」として，国内外の再生可能エネルギー関連産業企業や団体へ，技術・情報の発信および商談や交流の場を提供する展示会に出展。

日　時：平成27年10月28日（水）～29日（木）
場　所：ビックパレットふくしま（福島県郡山市）
来場者：100人（会場来場者数：6,369人）

【出展内容】

○橋脚および港湾構造物を利用した潮流発電の研究開発

（注）エコテクノ2015出展に同じ

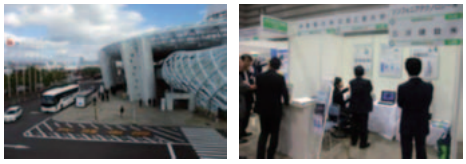


写真6　RIEFふくしまの会場と出展風景

5 ひがしひろしま環境フェア2015

環境保全について市民の関心と理解を深めることを目的に，東広島市が毎年開催しているイベントに出展。

日　時：平成27年11月７日（土）～８日（日）
場　所：東広島運動公園（東広島市西条町口田）
来場者：400人（会場来場者数：20,000人）

【出展内容】

○電力体験コーナー（手作り品）

水力・火力発電模型，手回し発電機と負荷増減装置による負荷変動発電体験

○橋脚および港湾構造物を利用した潮流発電の研究開発

（注）エコテクノ2015出展に同じ

写真7　ひがしひろしま環境フェア会場と出展風景

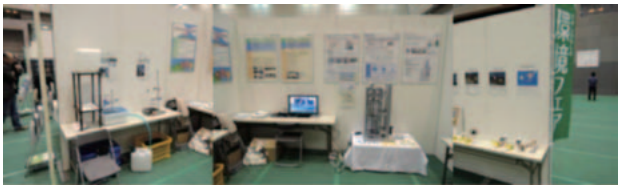


写真8　出展ブース風景

6 エコ・イノベーションメッセ2015 in ひろしま

環境とイノベーションをメインテーマに，広島を中心に産学官連携で開催される中国四国地方で唯一の環境総合展に，中国電力グループとして出展。

日　時：平成27年11月27日（金）～28日（土）
場　所：広島県立広島産業会館（広島市南区）
来場者：500人（会場総来場者数：5,000人）

【出展内容】

○金属柱劣化判定装置

超音波探傷法を用いて，地中部分の劣化状況を，掘削することなく判定する装置を開発した。

写真9　測定装置

○洪水吐ラジアルゲート応力解析手法の高度化

水力発電所のダム洪水吐ラジアルゲートの健全性評価について，有限要素法を用いた応力解析の解析精度を向上させる手法を開発した。

図4　有限要素法解析

○石炭灰洗浄技術による石炭灰の品質向上効果に関する研究

石炭灰に含まれる未燃炭分を洗浄･除去する技術を活用し，品質向上した石炭灰を用いたコンクリートの特性把握に取り組んでいる。

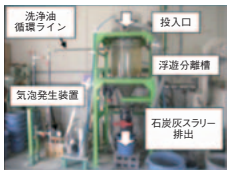


写真10　洗浄装置

○石炭灰を利用した次世代コンクリートの研究

（注）エコテクノ2015出展に同じ

○橋脚および港湾構造物を利用した潮流発電の研究開発

（注）エコテクノ2015出展に同じ

○家庭向け節電アドバイスツールの研究

（注）エコテクノ2015出展に同じ

7 おわりに

５箇所の社外展示会に出展し，合計約1,500人の方に研究成果等を紹介することができた。今後も積極的に出展し，地域社会，地域企業に貢献したいと考えている。

博士（工学）学位取得

エネルギア総合研究所　総合エネルギー技術グループ　和田　泰孝

1 はじめに

このたび，博士論文「超臨界水ガス化プロセスにおけるタール対策」に対し，広島大学から平成28年3月3日付けで博士（工学）の学位を授与していただきました。本論文は，平成24年から平成28年の間に中国電力および広島大学において行った研究をまとめたものです。

2 研究および成果の概要

(1) 超臨界水ガス化とは

温度373.946℃以上･圧力22.064MPa以上の「水」を超臨界水と呼びます [1]。水と蒸気の中間的な性質を持つ「高密度の蒸気」で，油や有機物を溶解するうえ，加水分解する反応性も持っており，水分を多量に含む食品廃棄物や下水汚泥等の有機性廃棄物の分解清浄化と燃料ガス製造を同時に行うコストメリットの高い技術として期待されています。

この反応では水自身が反応物なので，脱水や乾燥が不要，つまり前処理に伴うエネルギーの浪費がありません [2] [3]。そのうえ，反応後の高温流体が持つ熱エネルギーの9割を排熱回収することで，反応温度へ加熱するエネルギーも大幅に節約できます。

図1　超臨界水ガス化技術のイメージ

(2) 研究概要

我が国のエネルギー自給率は先進諸国中でも最低レベルであり，原子力再稼働は最重要なアジェンダですが，国内廃棄物の有効活用技術の開発も有効なアプローチ方法です。超臨界水ガス化技術を実用化すれば，カーボンフリーの国産燃料ガスを廃棄物処理収益と共にプロフィットとして得ることが可能となります。

しかし装置の閉塞トラブルが実用化を阻んでおり [4]～[6]，本研究では副次的生成物であるタールによる閉塞が課題となりました [3]。そこで，

a. 粉末活性炭を原料へ混合する対策を提案し，短時間試験で適正量を確認
b. 活性炭のタール閉塞抑制効果を24時間連続ガス化試験で確認
c. 活性炭コスト低減のため再利用試験実施

といった方策で研究を進めた結果，以下の成果を得ることができました。

a. タール閉塞抑制の見込みを得るとともに活性炭の適正な混合量を示した。
b. 上記による閉塞抑制効果を，24時間連続ガス化試験で確認できた。
c. 活性炭の再利用が可能であることを示し，活性炭の使用コストを最小化した。

(3) 今後の取り組み

本研究は，現在もNEDO様より補助金をいただいて進めており，実証装置の設計製作および試験運転を計画しております。安定的な運用方法の確立のため，本研究で得た知見はもとより新技術も導入して研究を進めてまいります。

3 謝　辞

本研究を進めるに当たり，社内外の皆様より多大なるご支援・ご指導をいただきました。この場をお借りして厚く御礼を申し上げます。

学位記を手にして

[参考文献]
[1] 渡辺康一 他, 2. 水および水蒸気の熱物性 2･1 飽和表（温度基準），編集者・発行者 井口雅一, 発行所 社団法人日本機械学会, 蒸気表, pp11（1999）.
[2] Matsumura, Y., et al., J. Jpn. Petrol. Inst., 56, 1-10 (2013).
[3] Wada, Y.; et al., J. Jpn. Inst. Energy. 92, 1159-1166 (2013).
[4] Xu, X.; et al. Ind. Eng. Chem. Res. 35, 2522-2530 (1996).
[5] Antal, M.J., Jr.; et al. Ind. Eng. Chem. Res. 39, 4040-4053 (2000).
[6] Elliott, D.C.; et al., Ind. Eng. Chem. Res. 43,1999-2004 (2004)

担当紹介コーナー

今回は,「環境技術グループ」を紹介します!
当グループは,生物チームと化学チームで構成されています。

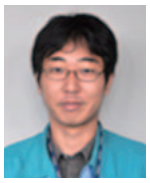
引野マネージャーとグループメンバー
(上)小畠, 吉崎, 清永, 吉河, 角田, 沢田
(下)柳川, 引野マネージャー, 盛田, 江木

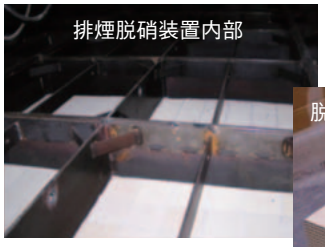
Q どんな研究を行っているのですか?

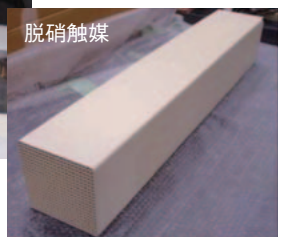
火力発電所における「環境面」からの効率化に関する研究・開発を中心に,「環境技術」をテーマとして幅広い研究活動を展開しています。
当グループの活動のいくつかを紹介します。

脱硝触媒の再生に関する取り組み

火力発電所における環境対策設備の一つである排煙脱硝装置用触媒の性能回復・維持のため,触媒再生技術等の開発に取り組んでいます。







温暖化対策技術に関する取り組み

地球温暖化対策の推進を目的とし,燃料電池等の高効率発電技術や,CCUS(CO_2分離・回収・利用・貯留)等の最新技術・政策動向を幅広く調査しています。

燃料電池関連研究設備

緑化技術に関する取り組み

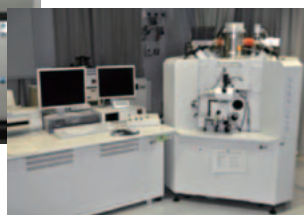
省エネ対策等を目的とし,従来の土耕栽培に比べ維持管理が簡単な水耕栽培を適用した緑化システムの開発に取り組んでいます。

屋上緑化システム

壁面緑化システム

依頼分析への対応

研究所が保有する分析装置を用い,技術的トラブルの原因調査など,当社事業所等からの分析依頼に積極的に対応しています。(年平均50件程度対応)。



平成27年度　学会・協会等への発表一覧

エネルギア総合研究所

発表年月	発表先（学会名等）	発表題目	所属グループ	氏　名
H27/ 5	Journal title: Physics Procedia	「Development of Non-Destructive Evaluation System Using an HTS-SQUID Gradiometer with an External Pickup Coil」	系統・情報通信	河野　丈治
H27/ 5	第67回　土木学会中国支部研究発表会	太田川水系京橋川オープンカフェ周辺での石炭灰造粒物による大規模底質改善実証事業	土木	中本　健二
H27/ 5	第67回　土木学会中国支部研究発表会	石炭灰を活性フィラーとして用いたジオポリマーの養生温度と強度特性の関係について	土木	渡辺　勝
H27/ 5	第67回　土木学会中国支部研究発表会	常時微動計測によるアーチダムの振動特性について	土木	仁科　晴貴
H27/ 5	第67回　土木学会中国支部研究発表会	水路構造物湾曲部2次流れ解析へ用いる乱流モデルの適用性検討	土木	井上　智子
H27/ 5	第67回　土木学会中国支部研究発表会	石炭灰造粒物による広島観音マリーナ釣り公園の釣場環境改善効果について	土木	松尾　暢
H27/ 6	海洋開発シンポジウム 土木学会論文集B3(海洋開発),Vol.71	混合粒径の石炭灰造粒物の移動限界に関する研究	土木	仁科　晴貴
H27/ 6	海洋開発シンポジウム 土木学会論文集B3(海洋開発),Vol.71	ヘドロ堆積干潟での石炭灰造粒物による大規模底質改善施工技術の開発	土木	中本　健二
H27/ 6	第23回 欧州バイオマス会議	The creation of renewable energy by supercritical water gasification with food waste	再生可能エネルギー利用技術	和田　泰孝
H27/ 7	日本技術士会中国本部 電気情報部会講演会	SQUID非破壊検査に関する研究	系統・情報通信	杉内　栄夫
H27/ 8	ASIA ELECTROMAGNETICS SYMPOSIUM 2015	Lightning occurrence data observed with lightning location systems of electric power companies in Japan: 2009-2013	流通設備	真壁　勝久
H27/ 8	電気学会C部門大会	電力業務へのSNS等情報活用に関する検討	流通設備	熊谷　靖夫
H27/ 8	第24回 日本エネルギー学会大会	食品廃棄物（焼酎残渣）の超臨界水ガス化による再生可能熱創生	再生可能エネルギー利用技術	和田　泰孝
H27/ 9	電気学会 電力技術・電力系統技術 合同研究会	SVR動作時間整定のためのハンチング頻度推定手法	系統・情報通信	柴丸　昇
H27/ 9	日本機械学会	温度推定手法を用いた低合金鋼ボイラチューブ余寿命推定法の開発	発電・材料	松村　栄郎
H27/ 9	日本機械学会	蒸気タービン鋳鋼経年材の脆化特性	発電・材料	松村　栄郎
H27/ 9	日本機械学会	ボイラ9Cr鋼溶接部の余寿命診断手法の開発	発電・材料	西田　秀高
H27/ 9	日本機械学会	ボイラ溶接部の帯鋼等補修技術開発	発電・材料	西田　秀高
H27/ 9	8th International conference on asian and pacific coasts Elsevier Procedia Engineering, Vol.116	Granulated coal ash - used method for remediation of organic matter enriched coastal sediments	土木	中本　健二
H27/ 9	土木学会　第70回年次学術講演会	フライアッシュ洗浄技術によるコンクリートのワーカビリティー改善効果について	土木	松尾　暢
H27/ 9	土木学会　第70回年次学術講演会	覆砂材に活用される石炭灰造粒物による硫化物イオン吸着機能と吸着サイト再生機構	土木	中本　健二
H27/ 9	土木学会　第70回年次学術講演会	覆砂材に活用される石炭灰造粒物の硫化物イオン吸着機能に注目した最適配合の検討	土木	井上　智子
H27/ 9	土木学会　第70回年次学術講演会	干潟覆砂材に活用される石炭灰造粒物の透水層機能と仮設作業通路としての支持力評価	土木	中本　健二

発表年月	発表先（学会名等）	発表題目	所属グループ	氏　名
H27/ 9	土木学会　第70回年次学術講演会	新設ラジアルゲートの実測と解析に基づくトラニオンピン近傍脚柱応力の考察	土木	仁科　晴貴
H27/ 9	第33回 電気設備学会全国大会	家庭向け節電アドバイスツールの試作	電気高度利用技術	河野　伸行
H27/ 9	電気学会D部門大会	Transactive Energyの動向分析	経営支援	大江　隆二
H27/10	第66回電気・情報関連学会 中国支部連合大会	ならし効果喪失の判定に用いる広域多地点日射強度データが判定結果へ与える影響の一検討	系統・情報通信	土居　崇
H27/10	第66回電気・情報関連学会 中国支部連合大会	再エネ電源大量導入時の離島系統における余剰電力対策についての一考察	系統・情報通信	土居　崇
H27/10	火力原子力発電技術大会	配管曲げ・内圧に対する帯鋼等補強技術の開発	発電・材料	松村　栄郎
H27/10	第66回電気・情報関連学会 中国支部連合大会	家庭向け節電アドバイスツールの試作	電気高度利用技術	河野　伸行
H27/10	第66回電気・情報関連学会 中国支部連合大会	非接触給電のシステム構成に関する一考察	電気高度利用技術	沖段　和磨
H27/10	JCOAL第1回　勉強会 「CO_2の有効利用」	マイクロ・ナノバブルによる海生生物の付着抑制技術の開発について	環境技術	柳川　敏治
H27/11	海岸工学講演会 土木学会論文集B2（海岸工学）,Vol.71	還元有機泥が堆積した海域の底質改善に用いられる石炭灰造粒物の生物親和性評価	土木	中本　健二
H27/11	The 14th International conference on civil and environmental engineering	Physical and chemical properties of granulated coal ash regarding biological affinity in coastal sediments	土木	中本　健二
H27/12	日本鉄鋼協会 高強度耐熱鋼WG	温度推定手法を用いた低合金鋼ボイラチューブ余寿命推定法の開発	発電・材料	松村　栄郎
H27/12	日本材料学会 高温強度シンポジウム	蒸気タービン鋳鋼経年材の脆化特性	発電・材料	松村　栄郎
H27/12	日本材料学会 高温強度シンポジウム	ボイラ配管余寿命診断用ロングスパン型 高温ひずみ計の基礎特性について	発電・材料	田中　誠
H27/12	日本材料学会 高温強度シンポジウム	高温高圧蒸気配管曲げ・内圧に対する帯鋼等補強技術の開発	発電・材料	西田　秀高
H27/12	土木学会水工学講演会 土木学会論文集B1（水工学）,Vol.72	還元有機泥覆砂材に活用される石炭灰造粒物の土壌反応特性と底質安定化機構	土木	中本　健二
H27/12	土木学会水工学講演会 土木学会論文集B1（水工学）,Vol.72	河川感潮域におけるヤマトシジミ生息基盤への石炭灰造粒物の適用性評価	土木	井上　智子
H28/ 1	電気学会研究会 （高電圧研究会）	日本の大地雷撃発生状況 ―電力各社の落雷位置標定システムのデータに基づく、2009 年度から2013 年度までの雷データ取りまとめ結果―	流通設備	真壁　勝久
H28/ 1	The 3rd Asian Conference on Biomass Science	The supercritical water gasification treatment of wet-biomass with activated carbon	再生可能エネルギー利用技術	和田　泰孝
H28/ 1	日本エネルギー学会 第11回バイオマス科学会議	食品廃棄物（焼酎残渣）の超臨界水ガス化による再生可能熱の創生	再生可能エネルギー利用技術	和田　泰孝
H28/ 2	日本材料学会 余命診断技術WG	ボイラ蒸気配管の最大損傷部位の特定技術	発電・材料	西田　秀高
H28/ 3	電気学会全国大会	配電系統における大規模な三相太陽光発電連系時の電圧不平衡について	系統	八田　浩一
H28/ 3	電気学会全国大会	ならし効果喪失を引き起こす広域多地点日射強度データの定量的評価手法に関する一検討	系統	土居　崇

＊所属グループ・氏名は，当研究所において携わった主担当を記載しています。

エネルギア総合研究所　見学のご案内

ご見学について

研究開発成果の展示場や実験設備等のご見学ができます。（少人数でも対応可）

・平日　9：00～12：00, 13：00～17：00
・休館　土・日・祝日, 5/1, 年末年始
・駐車場30台（大型バス3台）程度

○展示場（随時可）
○団体見学（要予約）
・10～200名程度の団体さま
・1時間～1時間30分程度

学校関係者の皆さまへ

次世代を担う子どもたちに，環境・エネルギーに興味・関心をもって学習に取り組んでもらえるよう，環境エネルギー教室を開催しています。日常生活に欠かすことのできないエネルギーや地球環境問題について，実験などを通じてご説明します。

○団体見学（要予約）
・10～200名程度の団体さま
・1時間30分～2時間程度
・施設見学と学習教室（小，中，高）など

太陽光発電設備，高電圧実験棟など設備見学のほか，研究開発成果の紹介をいたします。

見学申し込み先

(082) 493-5513（見学専用電話）
・平日 9：00～12：00, 13：00～17：00
・休館 土, 日, 祝日, 5/1, 年末年始
希望日の2週間前までに連絡をお願いします。

インターネットからのお申し込みはこちら↓
http://www.energia.co.jp/eneso/tech/kengaku/

年間を通じて，地域の皆さまや学校の社会見学・校外学習などで幅広い層のお客さまにご見学いただいています。ぜひ一度，研究所へお越しください。お待ちしています。

エネルギア総研レビューに関する問い合わせ先
中国電力株式会社　エネルギア総合研究所／（082）420－0700

発行所／中国電力株式会社　エネルギア総合研究所
〒739－0046　東広島市鏡山3丁目9番1号
発行日／平成28年6月27日