太陽熱利用ハイブリッド型 CO₂フリー火力発電 システムの特性評価 — 大阪市の日射条件に基づいて —

正員 朴 炳 植 (大阪大学)

正員 鈴木 胖 (大阪大学)

Characteristics Evaluation of a CO₂-Capturing Hybrid Power Generation System
Utilizing Solar Thermal Energy When Constructed in Osaka City
Pyong Sik Pak, Member, Yutaka Suzuki, Member (Osaka University)

The characteristics of a CO₂-capturing hybrid-type power generation system utilizing both the fossil fuel and solar thermal energy were investigated. In the system, relatively low temperature saturated steam is produced by using solar thermal energy and is utilized as the working fluid of a methane-firing gas turbine system. The proposed system is a hybrid-type system in which generated CO₂ is recovered based on the method of oxygen combustion, and thus a high efficiency system without both emission of CO₂ and thermal NO_x can be expected to be possible to construct even in the region where solar radiation conditions are not so good. The system with 1 ha collector area was assumed to be constructed in Osaka city, and its characteristics have been investigated. It has been estimated through simulation study that the proposed system has high exergetic efficiency of 63.8 % on the basis of the fuel exergy even when generated CO₂ is captured, and that the net generated power is 1.75 MW, capacity factor is 17.7 %, and total exergetic efficiency is 19.6 %, being 1.61, 1.70, and 1.61 times high, respectively, compared with that of a conventional solar thermal power generation system. It has also been shown that the system has relatively 32 % higher exergetic efficiency compared with a future high-efficiency photovoltaic power generation system.

キーワード：太陽エネルギー, CO₂ 回収, 集熱器, 標準気象データ, 酸素燃焼, ガスタービン

1. はじめに

二酸化炭素 (CO₂) 排出量低減のためには、自然エネルギーの利用を促進するとともに、エネルギーの利用効率を顕著に向上させ化石燃料消費を減少させることが必要となる。

自然エネルギーの中では太陽エネルギーが最も豊富であり、このため太陽光発電システムが将来の基幹的エネルギーシステムになると期待されているが、発電効率が低く経済性に問題があることは良く知られている。これに対し、太陽熱発電システムは比較的効率が良く経済性も良く既に商用発電所が稼働しているものの⁽¹⁾、日射条件の良い所でしか利用できないという問題がある。これは、太陽熱発電システムでは基本的に直達光しか利用できないので、日照条件の悪いところでは蒸気条件を上げることができず、発電効率が低下するとともに、稼働率が顕著に低下するからである。

従って、当面化石燃料を利用しつつ、発生 CO₂の回収を

図ると共に自然エネルギーの利用を図ることが実効的な CO₂排出量削減対策として必要になると考えられる。筆者らは先に、集熱効率の良い低温集熱した太陽熱エネルギーにより製造した飽和蒸気をガスタービンの作動流体として利用するハイブリッド型酸素燃焼方式 CO₂フリー火力発電システムを提案し、提案システムが極めて高い発電効率を有する可能性を持つことをシミュレーションモデルを用いて示した⁽²⁾⁽³⁾。しかし、発電効率の推定にあたって仮想的な年間平均の日射条件しか用いていない。また発電システム中の配管ロス、熱交換器ロスや太陽光の追従特性も考慮していないという問題もある。本論文では、大阪市に本システムを建設すると仮定した場合のシステムの特性を、大阪市の標準的な日射データを用いてシミュレーションした結果について示すとともに、太陽熱発電および太陽光発電を行う場合の特性と比較・検討した結果についても述べる。

2. 提案システムの構成と基本的特性推定結果

図1に筆者らが提案する太陽熱利用ハイブリッド型 CO₂

(a) 全体構成

(b) CO₂回収 H₂Oタービン発電システムの構成

図 1. 太陽熱利用ハイブリッド型 CO₂フリー火力発電システムの基本構成

Fig. 1. Construction of a CO₂-capturing power generation system utilizing solar thermal energy.

フリー火力発電システムの基本構成を示す。システムについての説明は参考文献(3)に詳しいので省略する。

図 2 は本システムの発電特性を推定した結果を、作動流体である飽和蒸気の温度 T_s を横軸にとってグラフに示した図である。ただし、本推定結果は太陽熱利用飽和蒸気流量が 1 t/h の単位流量と仮定した時の特性であり、システムの発電電力は太陽熱を利用して製造される飽和蒸気流量に比例することになる。また、図 3 は本システムの総合正味エクセルギー効率 η_{te} を推定した結果を、作動流体である飽和蒸気の温度 T_s を横軸に、集熱器に入射する集光日射強度 H_d (kW/m^2) の値をパラメータにとってグラフにした図である。

なお、特性の推定にあたっては、次に述べるように仮定した。すなわち、太陽熱集熱用配管および熱交換器における熱損失率を L_s で表すと、 $L_s = 0.1$ と仮定した。太陽熱利用製造の飽和蒸気温度 T_s は、図 1(a) に示した熱交換器の高温側熱媒体温度 (集熱器出口温度) を T_{out} 、熱交換器の高温側温度差を ΔT_H とすると、

$$T_s = T_{out} - \Delta T_H \quad (1)$$

となる。また、低温側熱媒体温度 (集熱器入口温度) を T_{in} 、リターン水温度を T_r 、低温側温度差を ΔT_L とすれば、

$$T_{in} = T_r + \Delta T_L \quad (2)$$

である。本システムの特性推定においては、 $\Delta T_H = \Delta T_L = 30^\circ\text{C}$ と仮定した。なお、CO₂回収 H₂Oタービン発電システムの外生変数および外生パラメータの値としては文献(3)

図 2. 提案システムの発電特性 (太陽熱利用製造飽和蒸気流量 1 t/h に対して)

Fig. 2. Power generation characteristics of the system using saturated steam of 1 t/h .

で用いた値をそのまま用いた。

提案システムの総合正味発電エクセルギー効率は、図 3 に示すように、集光日射強度 H_d の値が大きく、例えば $H_d = 0.7$ の場合、システムの作動流体である飽和蒸気温度 T_s の値を上昇させるほど良い効率が得られると推定されることが分かる。これに対し、 H_d の値が小さい場合、例えば $H_d = 0.2$ のとき T_s は $T_s^* = 232.8^\circ\text{C}$ で η_{te} は最大となり、 $H_d = 0.1$ のときには T_s は $T_s^* = 187.1^\circ\text{C}$ で η_{te} は最大となり、それぞれ T_s の最適値 T_s^* の値を越えると η_{te} の値はむしろ悪くなると推定されていることが分かる。これは、集熱器効率は集熱温度が高くなると急激に悪化するためである(2)。従って、本 CO₂フリー太陽熱利用火力発電システムは、日射条件が悪い地域に建設される場合、太陽熱利用製造飽和蒸気温度は従来式の太陽熱発電システムの場合と比べ、顕著に低くする方がむしろ望ましいと推定されることが分かる。

3. ケーススタディ - 大阪市内に建設した場合 -

本章では、前章で述べた本システムの基本的特性を用いて、提案システムを大阪市内に建設すると仮定した場合のシステム特性を推定した結果について述べる。具体的な建設場所としては、大阪市の下水処理場の中で市民に開放可能と推定されている下水処理施設の上部空間約 16 ha 中の一部を利用して(4)集熱器面積 1 ha のシステムを建設するものと本研究では仮定した。日射データとしては、大阪地区の標準気象データを用いた。

(3.1) 太陽日射データ

図 3. 提案システムの集光日射強度 H_d (kW/m^2) をパラメータとした総合正味発電エクセルギー効率

Fig. 3. Total net exergetic efficiency of the proposed system being taken collected solar energy H_d (kW/m^2) as a parameter.

(1) 標準気象データ 標準気象データは、各地の気象台や測候所において長年の間観測・蓄積されている原データに対して最も代表性が高いような平均月を探し出し、これに必要となる加工を加え接続し、接続データがそのまま「平均年」として使用できるように整備したものである。大阪地区の標準気象データは、1960～1969年の10年間の実際の気象データから標準化を行なったデータである⁽⁵⁾。

標準気象データには、1) 外気乾球温度、2) 外気湿度、3) 法線面直達日射量、4) 天空(散乱)日射量、5) 長波(実効)放射量または雲量、6) 風向、7) 風速の7つの気象要素の1時間毎の1年間の値が示してある。このほか、暦情報(年、月、日、曜日、祝祭日)の情報も含まれている。

(2) 一軸追尾したときの直達日射データの推定法 本システムでは、太陽熱集熱器として製造の容易なトラフ型の集熱器を用いるものとした。また、太陽光の追尾方式としては、経済性を考慮して集光効率の高い2軸追尾方式ではなく、太陽からの直達日射光を南北軸を固定した一軸追尾方式により集光するものと仮定した。図4に、南北軸固定・一軸追尾方式の集光システムの概要図を示す。太陽からの直達日射光はいつでも集熱器の正面方向から入射するわけではないので、直達日射光の一軸追尾による集光ロスを考慮する必要がある。図4(a)は集熱器のある位置を中心とした天球で、太陽との位置関係を示している。図中の記号 α は太陽の真南からの偏角で、 h は太陽高度である。図4(b)、(c)は太陽光が集熱器に入射する様子を表し、それぞれ図

(a) 太陽と集熱器の位置関係
(8月20日13時26分)

(b) 図(a)を真南から見た図

(c) 図(a)を真東から見た図

図 4. 一軸南北方式の集光システムの概要図

Fig. 4. Schematic diagram of a one-axis solar tracking system with north south direction axis.

(a)を真南および真東から集熱器が水平に見えるように視点を合わせた図である。図中の記号 β は集熱器の太陽光追尾角であり、 θ は太陽光の集熱器への入射角である。ここで α 、 h 、 β 、 θ は、南北軸固定・一軸追尾方式の集光システムの場合、以下の式を用いて計算される⁽⁵⁾。

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \omega \cos \delta \quad (3)$$

$$\sin \alpha = \sin \omega \cos \delta / \cos h \quad (4)$$

$$\cot \beta = \cos \varphi \cot \omega + \sin \varphi \operatorname{cosec} \omega \tan \delta \quad (5)$$

$$\sin \theta = \cos \varphi \sin \delta - \sin \varphi \cos \omega \cos \delta \quad (6)$$

ただし、 δ は赤緯で太陽の赤道面からの偏角を意味し、次の(7)式より計算される。 ω は時角で子午面からの偏角を意味し、下に示す(8)式より計算される。また、 φ および λ はそれぞれ観測地点の緯度、経度を表す。

$$\delta = 23.45 * \sin\{360(284 + n)/365\} \quad (7)$$

ここで、 n : 元日を1とした

年間の日付の通し番号

$$\omega = 15 * (\text{真太陽時} \pm 12) \quad (8)$$

ここで、+: 午前, -: 午後

図 5. 大阪における一日の法線面直達日射分布 (年平均)
Fig. 5. Annual average daily direct solar radiation distribution in Osaka.

$$\text{真太陽時 (時)} = \text{日本標準時} + \lambda - 9(\text{時}) + \text{均時差} \quad (9)$$

$$\text{均時差 (分)} = 0.0172 + 0.4281 \cos x - 7.3515 \sin x - 3.3495 \cos 2x \quad (10)$$

$$x(\text{度}) = 360(n-1)/365 \quad (11)$$

太陽からの直達日射光のうち、集熱器に入射する集光日射強度を H_d とすると、 H_d は法線面直達日射強度 I_b を用いて次のように表される⁽⁵⁾。

$$H_d = I_b \cdot \cos \theta \quad (12)$$

図 5 は、大阪における一日の年平均法線面直達日射分布を示す。この図は、大阪地区の標準気象データを用いて、法線面直達日射量 I_b (kW/m^2) の各時刻での値を 0.1 刻みで一年間の頻度を求め、それを 365 日で割って一日平均としたものである。

図 6 に、太陽からの直達日射光のうち集熱器に入射する日射分布を推定した結果を示す。以下、太陽からの直達日射光のうち、集熱器に入射する日射量を「利用太陽エネルギー」と呼ぶことにする。図 6 を図 5 と比較してわかるように、利用太陽エネルギーは直達日射エネルギーに比べ低日射量の頻度(時間)が多く(長く)、高日射量の頻度(時間)は逆に少なく(短く)なっていることがわかる。

(3.2) 提案システムの近似最適集熱温度と発電電力の推定
本システムを稼働させるにあたり、タービン入口圧力の値を一定値に保つと仮定した。すなわち、太陽熱利用製造飽和蒸気温度 T_s の値を一定にすると仮定し、次式で求められる集熱器平均温度 T_{ave} をある一定値に制御するものとした。

$$T_{ave} = (T_{in} + T_{out}) / 2 \quad (13)$$

以下では、図 6 に示すような年平均の一日の日射条件が与

図 6. 大阪における一日の利用太陽エネルギー分布 (年平均)
Fig. 6. Annual average daily collected solar energy distribution in Osaka.

表 1. 近似最適集熱器平均温度 T_a^* および発電システムの近似年間特性推定値 (集熱器面積 1 ha の場合)

Table 1. Quasi-optimal collector temperature T_a^* and estimated system characteristics when the collector area is 1 ha.

集熱器平均温度 T_a^*	190.5 (°C)
最大正味発電電力 W_m	1.75 (MW)
正味発電電力量	7.97 (MWh/d)
消費燃料量	10.8 (Gcal/d)
総合正味発電エクセルギー効率	20.7 (%)
燃料ベースの送電端エクセルギー効率	63.8 (%)
年間稼働率	19.0 (%)

えられた時、本システムの総合正味エクセルギー効率 η_{te} を最大とする最適集熱器平均温度 T_{ave}^* を推定した結果について、まず述べる。

T_{ave}^* を推定するに当たっては次のように想定した。すなわち、利用太陽エネルギー H_d の値が変わると、太陽熱エネルギーを利用して製造できる飽和蒸気量が変わり、このためタービン流量 G_s が変わる。ここでは簡単のため CO_2 回収 H_2O タービン発電システムのタービン断熱効率 η_f は G_s によって変わらないものと仮定した^{*1}。以下では、このよ

*1: 太陽熱利用ハイブリッド発電システムでは太陽熱を利用して製造した飽和蒸気を作動流体として発電する構成となっているため、実際の運転構成では太陽日射強度の変化を考え蒸気アキュムレータを組み合わせて運転されると考えられる。すなわち、入射太陽エネルギーが大きいときは余分のエネルギーを蒸気アキュムレータに蓄え、入射太陽エネルギーが小さいときは不足する飽和蒸気量を蒸気アキュムレータから取り出して運転するものと考えられる。このように実際の運転状況ではタービン流量がほぼ一定となるように運転されるということを考慮して、ここでは簡単にタービン流量が変わってもタービン断熱効率は変わらないと仮定して計算することにした。

うな仮定のもとで求められる近似最適温度を T_a^* で表すことにする。

図3に示した特性および図6より T_a^* を推定した結果を表1に示す。表1に示すように、集熱器平均温度が $T_a^* = 190.5^\circ\text{C}$ (この時の CO₂回収 H₂O タービン発電システムの再生器入口の飽和蒸気温度は $T_s = 220.9^\circ\text{C}$) の時に本システムは最高の総合エクセルギー効率を得られ、最大正味発電電力は $W_m = 1.75\text{ MW}$ 得られると推定されている。なお、この時正味発電電力量は 7.97 MWh/d 得られ、総合エクセルギー効率は 20.7% 、年間稼働率は 19.0% と推定されるが、これは図6の日射が毎日続く時の推定値なので、あくまで参考データとしかならないことに注意する必要がある。ここで、年間稼働率は次式で定義されるものとした。

$$\text{稼働率} = \text{年間正味発電電力量} / (W_m \times 24 \times 365) \quad (14)$$

(3.3) 提案システムの特性シミュレーション結果 前節では、大阪市で本システムを稼働させると想定した場合の集熱器平均温度 T_a^* および最大正味発電電力 W_m の推定を年平均の一日の日射データに基づいて行なった。本節では、上で求められた $T_a^* = 190.5^\circ\text{C}$ および $W_m = 1.75\text{ MW}$ の値をそれぞれ本システムの集熱器平均温度およびシステムの定格最大正味発電電力と定めて、本システムを1年間稼働させた場合の特性のシミュレーション結果について述べる。

本システムでは、集熱器に入射する集光日射強度 (利用太陽エネルギー) H_d (kW/m^2) および集熱器平均温度 T_a^* ($^\circ\text{C}$) および集熱器面積 S_h (m^2) を与えれば、集熱器で得られる毎時の熱量 Q_h (kcal/h) は次の (15) 式より求まる。

$$Q_h = H_d \times k \times S_h \times \eta_c \quad (15)$$

ただし、 $k = 860$ (kcal/kWh) であり、 η_c は文献 (3) に示すように集熱器平均温度が定まると定まる太陽熱集熱効率である。CO₂回収 H₂O タービン発電システムの作動流体を製造するのに利用できる熱量 Q_t (kcal/h) は、

$$Q_t = (1 - L_s) \times Q_h \quad (16)$$

と表される。ここで、 L_s は先に説明したように配管および熱交換器の熱損失率である。一方、 T_a^* の値より飽和蒸気温度 T_s とそのエンタルピー H_s (kcal/kg) が求まり、リターン水温度 T_r よりリターン水エンタルピー H_r (kcal/kg) が求まる。従って、太陽熱利用製造飽和蒸気流量 G_s (kg/h) は次の (17) 式より求まる。

$$G_s = Q_t / (H_s - H_r) \quad (17)$$

飽和蒸気流量が求まると、発電電力を図2より求めることができる。ただし、最大正味発電電力 W_m を発生するのに要する飽和蒸気量を G_{sM} とすると、 G_s の利用量は最大 G_{sM} までとした。

以上に述べた方法により、 H_d として (12) 式より得られる値を用い、集熱器面積を $S_h = 1$ (ha) として一時間毎の日射データを用いて本システムの一時間毎の一年間のシミュレーションを行なった。表2にはシミュレーションの結果最大の発電電力量が得られると推定された日 (4月2日) についての特性推定結果ならびに夏期・冬期・中間期平均お

図7. 従来式太陽熱発電システムの概要

Fig. 7. Construction of a conventional solar thermal power generation system.

および年平均としてまとめた結果を示してある。

表2より、本提案システムにおいては、燃料ベースで見ると年平均 63.8% のエクセルギー効率を得られ、総合正味エクセルギー効率で見ると、年平均 19.6% の効率を得られると推定されていることがわかる。総合正味エクセルギー効率が燃料ベースのエクセルギー効率に比べて極端に低くなっているのは、太陽エネルギーが計算に加えられるためである。また、本発電システムでは利用太陽エネルギー量が年平均で 2.36 ($\text{kWh/m}^2\text{d}$)、すなわち 20.3 (Gcal/d) であるのに比べ、消費する燃料量が 10.1 (Gcal/d) であることより、燃料の消費量は利用した太陽エネルギー量に比べてほぼ半分であることもわかる。

季節毎にまとめた結果によれば、直達日射量の少ない冬期平均の稼働率は 13.2% となり、年間平均に比べて約 $3/4$ ほどに落ちると推定されていることなどがわかる。

4. 提案システムの特性推定結果の検討

(4.1) 太陽熱発電システムとの比較 本発電システムの特性を他のシステムと比較・検討するため、比較システムの一つとして従来式の太陽熱発電システムの特性の推定も行なった。従来式太陽熱発電システムの概略構成を図7に示す。特性の推定に当たっては、図7に示すように、集熱器と熱交換器により蒸気条件が香川県仁尾町の太陽熱発電システムの場合と同じ 346°C 、 14 ata の過熱蒸気を製造し、その過熱蒸気を利用して蒸気タービン発電を行なうものとした。発電特性の推定にあたっては、復水器出口圧力は本システムと同じく空冷式の復水器を用いるものとして、 0.25 kg/cm^2 (温度 64.5°C) とした。蒸気タービンの断熱効率は 90% とした。その他の必要となる条件 (集熱器の特性・太陽追尾方式および配管、熱交換器の特性) は、本提案システムと同じとした。得られた一時間毎の1年間のシミュレーション結果を、年間平均値としてまとめた結果を表2に示す。

表2に示すように、 346°C の高温の過熱蒸気を製造する従来方式の太陽熱発電システムの最大正味発電電力は 1.09 MW 、稼働率は 10.4% と推定されている。これに対し、本提案ハイブリッド発電システムではそれぞれ、 1.75 MW 、 17.7% と推定されている。従って、本システムでは太陽熱を利用して 220°C ほどの低温の飽和蒸気しか製造しないため太陽熱集熱効率が高くなることおよび化石燃料を利

表 2. 特性シミュレーション結果
Table 2. Results of characteristics simulation.

	ハイブリッド発電システム					太陽熱発電システム	太陽光発電システム
	最大日 (4/2)	夏期 平均	中間期 平均	冬期 平均	年間 平均	年間 平均	
直達日射量 (kWh/m^2d)	7.46	3.01	2.80	2.55	2.79	2.79	3.99
利用太陽エネルギー量 (kWh/m^2d)	6.83	2.90	2.40	1.73	2.36	2.36	3.43
太陽利用可能時間 (h)	11	9.48	8.15	7.07	8.22	8.22	12.7
集熱器平均温度 ($^{\circ}C$)	190.5					—	—
最大正味発電電力 (MW)	1.75					1.09	1.50
正味発電電力量 (MWh/d)	17.8	9.08	7.55	5.53	7.44	2.72	5.55
消費燃料量 (Gcal/d)	24.1	12.3	10.2	7.5	10.1	—	—
総合正味発電エクセルギー 効率 (%)	18.1	21.3	19.8	16.9	19.6	12.2	14.8
送電端エクセルギー効率 (燃料ベース) (%)	63.8					—	—
稼働率 (%)	42.4	21.7	18.0	13.2	17.7	10.4	15.4

用することより、本システムの正味発電電力および稼働率は、太陽熱しか利用しない場合に比べ、それぞれ61%および70.2%高めることが可能と推定されていることがわかる。また、総合正味発電エクセルギー効率を1.61倍高めることもできると推定されていることがわかる。

(4.2) 太陽光発電システムとの比較 本ハイブリッド発電システムの特性を、太陽光発電システムと比較するために、その特性の推定もあわせて行なった。太陽光発電システムの特性の推定に当たって想定した条件は次に示す通りである。

- 太陽光発電アレイ効率は将来の技術進歩を見込んだ値として18.0%とした。
- 直流から交流への変換ロスなど、各種ロスなどをまとめて10%とした。

太陽光発電システムは太陽熱発電システムと違い、太陽からの直達日射光だけでなく散乱日射も発電に用いることができる。太陽からの散乱日射光のうち、集熱器に入射する散乱日射強度を H_s とすると、 H_s は太陽からの散乱日射強度 I_s および集光パネルの傾斜角 β を用いて次のように計算される⁽⁵⁾。

$$H_s = I_s \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (18)$$

その他の必要となる条件(集光パネル面積および太陽追尾方式)は本提案システムと同じ(1haおよび南北軸固定一軸追尾方式)とした。

以上の条件に基づいて、1時間毎の1年間のシミュレーションを行なった。得られたシミュレーション結果を、年間平均値としてまとめた結果を表2に示す。

表2からわかるように、太陽光発電システムのエクセル

ギー効率は年平均14.8%であると推定されている。これに対して、本提案システムのエクセルギー効率は年平均19.6%と推定されている。従って、太陽光発電システムの方が使用できる日射量が多いものの、本提案ハイブリッドシステムでは補助的に燃料を用いることによって将来の太陽光発電システムに比べて1.32倍高い効率が得られると推定されていることがわかる。また、提案ハイブリッドシステムの方が出力は1.17倍、稼働率は1.15倍、将来の太陽光発電システムに比べて高いと推定されることもわかる。

5. おわりに

本論文では、太陽熱エネルギーを利用して面積1haの集熱器により飽和蒸気を製造し、これを H_2O ガスタービンの作動流体として利用する、酸素燃焼方式 CO_2 フリーの太陽熱利用ハイブリッド型火力発電システムを大阪地区に建設する場合の特性を分析した。

本システムは、太陽エネルギーのみを利用する発電システムではなく、太陽熱エネルギーおよび化石燃料(天然ガス)をエネルギー源として発電するハイブリッド型システムであるので、従来の太陽熱発電システムと比較して、本発電システムの正味発電電力は1.61倍の1.75MW、稼働率は1.70倍の17.7%、エクセルギー効率は1.61倍の19.6%と、著しく高くなると推定されることを示した。

また、本システムを将来得られると期待される太陽光発電システムのエクセルギー効率と比べても、相対値で32%以上エクセルギー効率を高くすることが出来、 CO_2 を回収しても燃料ベースでいうと63.8%の高いエクセルギー効率が得られる。これは、大規模発電システムにおいてアミ

ン系化学吸収液を用いてCO₂を吸収するとした場合の推定エクセルギー効率37.9%⁽⁶⁾に比べると、太陽熱を利用することにより1.68倍エクセルギー効率が高くなると推定されることになる。

本論文では大阪地区の日射データを用いて提案発電システムの特性の推定を行った。太陽エネルギーを利用する本発電システムでは、発電特性は立地する地域が変われば太陽日射条件が変わり、日射条件が良くなればそれだけ発電出力が増加し本システムの特性はより良くなり、逆もまた成り立つと一般的には言えるが、厳密なことは各地域の日射条件を用いて推定する必要がある。ただし、燃料ベースの効率は集熱器平均温度を定めると日射条件が変わっても変わらないことは文献(3)で既に明らかにしてあるし、表2からもわかる。本論文の成果の一つは、太陽熱エネルギーを利用して発電するシステムは日射条件の良い所でしか可能でないと考えるのは正しくなく、化石燃料を補助的に利用することにより、太陽熱エネルギーを2倍ほど以上利用することが可能となり、大阪市のような比較の日射条件の良い所でも高効率な発電システムを構成することが可能であることを示すことができたことである。

なお、本システムでは酸素燃焼方式によるCO₂回収方式を取っているため、100%近い極めて高いCO₂回収能力を持つほか、NO_xなど大気汚染物質の排出もないという特徴もあるため、地球環境保全に適した発電システムにもなるという特徴もある⁽⁶⁾。

本発電システムは、構成が複雑となるものの太陽熱を利用することにより、CO₂の回収を行うにもかかわらず、燃料ベースでは顕著に高い効率を得ることが出来るので、CO₂排出制約下における新しい発電システムとして有望と考えられる。なお、本システムがCO₂排出制約下における発電システムとして本当に優れていることを示すためにはシステム特性の検討のほか、システムの経済性についても評価する必要があることはいうまでもない。また、回収CO₂の利用や処理の問題についても検討する必要がある。経済性の評価結果については機会を改めて報告する予定である。

終りに、本システムの特性の推定に御協力いただいた、大阪大学大学院生八川剛志、小杉隆信の両君に対し厚くお礼申し上げる。

(平成7年7月24日受付、同7年11月24日再受付)

文 献

- (1) 大阪科学技術センター:「欧米新エネルギー利用技術調査報告書」, 76~87(平4-2)
- (2) 朴・八川・鈴木:「CO₂回収太陽熱利用ハイブリッド型高効率発電システムの特性エクセルギー評価」, エネルギー・資源学会第13回研究発表会講演論文集, 141~146(平6-4)
- (3) 朴・八川・鈴木:「太陽熱利用ハイブリッド型CO₂全回収火力発電システムの提案とその特性評価」, 電学論B, 115, 669~675(平7-6)
- (4) (財)大阪下水道技術協会:「大阪市における下水道資源の利用に向けて」, 下水道資源利用検討委員会報告書, 30~31(平7-3)
- (5) 日本太陽エネルギー学会編:「太陽エネルギー利用ハンド

ブック」, オーム社, 33~34(昭60)

- (6) 朴・鈴木:「飽和蒸気を作動流体として利用するCO₂回収無公害高効率発電システム」, 電学論B, 113, 3, 266~272(平5-3)

朴 炳植

(正員) 昭和19年9月18日生。43年3月大阪大学工学部電気工学科卒業。同大学院博士課程を修了して、48年4月大阪大学工学部電気工学科助手、63年1月助教授、平成4年4月情報システム工学科勤務となり、現在に至る。各種システムのモデリングやアナリシスに関する研究に従事。工学博士。エネルギー・資源学会、ガスタービン学会、計測自動制御学会、シミュレーション学会などの会員。

鈴木 胖

(正員) 昭和9年8月23日生。33年大阪大学工学部電気工学科卒業。35年同大学院修士課程修了。同大学工学部電気工学科助手、助教授を経て、47年教授、平成元年5月情報システム工学科勤務となり、現在に至る。モデリングとシミュレーション、都市計画などの研究に従事。工学博士。エネルギー・資源学会、オペレーションズ・リサーチ学会、都市計画学会、IMACSなどの会員。