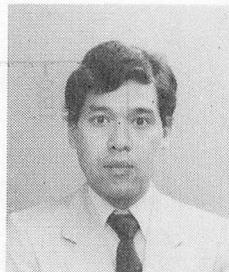


■ 解 説 ■

「企業間エネルギー共同利用の研究」

橋 爪 泰 夫*

Yasuo Hashizume



はじめに

「企業間エネルギー共同利用に関する研究」は、総合研究開発機構（NIRA）の助成を受け、平田賢東京大学工学部教授を主査として、センチュリリサーチセンタ（株）開発部が昭和57年度に実施したものである。以下は、本研究の経緯と概略をとりまとめたものである。

1. 熱の段階的利用と省エネルギー

一次エネルギー資源の利用形態をみると、その大部分が「燃焼」によって高温の熱エネルギーに変換され、熱機関へのインプットあるいは産業用・民生用の加熱に利用されている。そして投入された一次エネルギー資源の約半分近くが、廃熱の形で有効に利用されずに大気中、海水中へと捨てられていく。

一般に、一次エネルギー資源の燃焼によって得られる2000℃前後の高温の熱エネルギーを直接利用するのは、内燃式ピストン機関などだけである。産業界で必要とする熱エネルギーの温度にしても、千数百度程度の温度を必要とする鉄、セメント生産などの他は、中低温レベルで十分である。民生用の暖房などにおいては、せいぜい20～25℃程度の温風を直接必要とするに過ぎない。このような中低温レベルで十分なプロセスに対して、一次エネルギー資源の燃焼によって得られる高温（高質）の熱エネルギーを直接投入することは、熱エネルギーの質的な価値からみると、非常に不経済である。

そこで熱エネルギーの段階的利用の概念が注目されることになる。高温で作動するプロセスをまず想定する。一般にプロセスの作動後、高温プロセスからはより低温の熱エネルギーが排出される。この質的に異なる排熱エネルギーを、各温度レベルに見合ったプロ

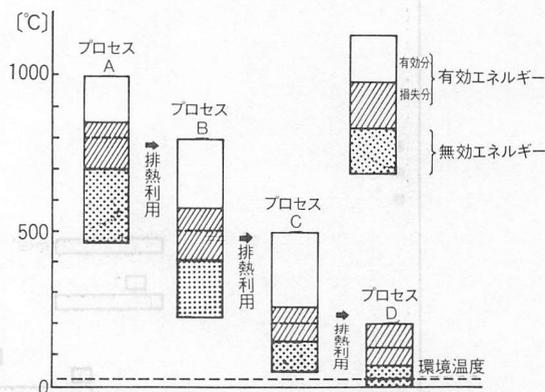


図-1 熱エネルギーの多段階利用の概念

セスで再利用可能であれば、最終的に外界の環境温度に低下するまで繰り返し再利用が可能となり、エネルギーの有効利用につながる。図-1に、熱の段階的利用の概念を示す。

つまり熱の段階的利用とは、熱エネルギーの「量」と同時に「質（温度の高低）」を適時適所に利用することである。このような熱の段階的利用は、現在でも一企業、一工場内において省エネルギー対策として十分行われている。これをさらに進め一企業の枠を越えて実施されている例は少ない。そこで本研究では、より普遍的な段階利用をめざし、「複数企業間の熱エネルギー有効利用（共同利用）」の可能性を追求、検討するものである。

2. 企業間エネルギー共同利用

2.1 排熱源と利用先の組合せ

各業種における排熱温度レベルと温度別の利用対象を調査した。これらから排熱温度レベルに応じた利用先を把握し、熱供給源と需要先との可能性のある企業間（業種間）の組合せを検討する。

図-2に、排熱源と需要側の温度レベルを示す。排熱温度レベルは、30～40℃の低温水から1500℃程度の高温排ガスまで広範囲にわたっている。しかし、これら

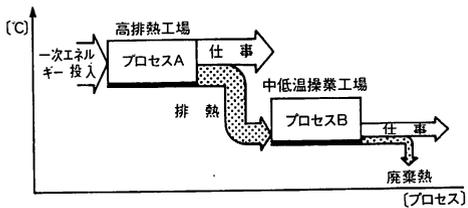
* センチュリリサーチセンタ（株）開発部開発第1グループ研究員

全てが外部に廃棄されているものではない。省エネルギー対策の進展により、現状では最終的に廃棄される温度は低下傾向にある。つまり現実的に利用可能なのは、せいぜい中低温域の排熱である。必然的に、組合せる熱利用対象も限られてくる。

2.2 エネルギー共同利用システム

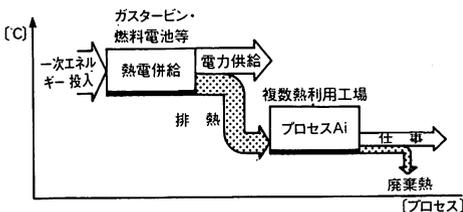
前項では、高温排熱源と中低温利用先の組合せによる熱エネルギーの段階利用を想定して、排熱温度と熱利用先の温度を調査した。図-3に高温排熱工場と中低温操業工場の組合せによる熱エネルギーの段階利用の概念を示す。熱源としては、各種工場排熱（工業炉、ボイラ、各種プロセス）が想定される。

別のタイプとして、発電排熱の利用による方式が考慮される。これは、ガスタービンあるいは燃料電池により発電しつつ、その排熱で熱供給を行うエネルギー利用効率が高いシステムである。これは熱電併給システムともよばれる。図-4に熱電併給によるエネルギー共同利用の概念を示す。これは、あくまでも熱供給を主目的として位置づけるものである。電力供給を主目的として、排熱による熱供給を従として位置づけるものではない。



(注)投入エネルギーに対する仕事と排熱の比率は概念的に示しているだけである。

図-3 高温排熱工場と中低温操業工場の組合せ



(注)投入エネルギーに対する仕事と排熱の比率は概念的に示しているだけである。

図-4 熱電併給によるエネルギー共同利用

2.3 エネルギー共同利用事例

以上までに示した企業間エネルギー共同利用の事例を紹介する。

① サントリー㈱と大阪染工㈱

サントリー㈱山崎ディステラリーの蒸留塔から発生する温排水（約60℃）と大阪染工㈱が汲み上げた地下水（約20℃）を3,000t/日で等量交換するシステムである。

サントリー㈱では、大阪染工㈱から供給された地下水を蒸留塔の冷却水として用いる。一方、大阪染工㈱はサントリー㈱から供給された温排水（水質は清浄）を、織物加工、ニット加工の洗浄用水として用い、ボイラ燃料使用量を削減する。

② 東京電力㈱と㈱第一勧業銀行

隣接する東京電力㈱本社地下の北新橋変電所と㈱第一勧業銀行本店との間で、排熱の相互利用が行われている。変電所変圧器からの冷却水排熱（約30℃）が、㈱第一勧業銀行で熱源として利用される。利用された温排水は、約10℃の冷水として戻され冷却用水として用いられる。

以上の例のように、異業種の企業間であっても組合せの条件が満たされるならば、現在の技術と社会的条件においても企業間のエネルギー共同利用が十分可能である。

3. 熱電併給システムの導入

3.1 熱電併給によるエネルギー共同利用

本研究の過程において、以下に示す諸点が明らかとなり工場排熱によるエネルギー共同利用から熱電併給によるシステムへと重点を移した。

① 排熱温度の低下

一企業内においても、比較的高温（高質）の排熱利用はかなり進展している。結果として外部へ捨てられる熱は、100℃～200℃程度の低温（低質）のものが多く利用対象も次のように限定される。

- ・ 一般・公共利用 給湯、暖房、プール、等
- ・ 農林・水産業 暖房、加熱、乾燥、養魚、等
- ・ 一部の製造業 染色、食品加工、精糖、等

② 社会的問題

隣接する企業間で、エネルギー共同利用を実施する場合、物理的な諸問題の他に次のような社会的問題を解決する必要がある。

- ・ 社内的な合意形成
- ・ 複数企業間の合意形成
- ・ システムの保守、管理、財産上の分界点
- ・ 担当官庁の許認可
- ・ 場合によっては地域との合意形成

このような問題を踏まえて、安定した熱源として熱と電力を同時に供給しエネルギー利用効率の高い熱電併給システムを採用することとした。さらに共同運営の素地がある工場群あるいは工場団地を対象とした。すでに公害防止などの立場から共同ボイラによるエネル

ギー共同利用も一部で実施されている。それ故に、先に示した諸問題の解決も比較的容易とも考えられる。

3.2 熱電併給システムの概要

熱電併給システムの分類を示す。

- ① 蒸気タービンシステム
- ② ディーゼル（又はガス）エンジンシステム
- ③ ガスタービンシステム
- ④ 高効率ガスタービン・蒸気タービン複合サイクルシステム
- ⑤ 燃料電池システム

前三者はすでに実用段階にある。後二者は、現在技術開発の途上にあるものである。

電気事業法の関連で、事業主体は電気事業者を想定している。発電された電力は、一般の送電系統へ戻し熱は組合を通して各工場に供給するシステムである。

本研究においては、ケーススタディを二例実施した現時点での実用化の点からは、ガスタービンシステムを、次に将来期待される技術として燃料電池システムを採用し可能性を検討した。

4. ケーススタディ

製紙工場群および工業団地を対象として熱電併給によるエネルギー共同利用システムの可能性を検討した前者は、10,000kW級のガスタービンによる製紙工場群（11工場）を対象として検討した。後者は、4,800kWの燃料電池による工場団地（対象36工場）に対する熱電併給システムの可能性を検討したものである。

ここでは、将来期待されている燃料電池による熱電併給システムの検討結果を示す。

4.1 導入対象

60以上の工場からなる神奈川県内の工場団地を対象とした。約15業種からなり総従業員は、3,600人程である。ただし、熱供給の対象としては、十分な熱需要データが得られた36工場とした。蒸気供給は1工場のみを対象とした。

4.2 熱需要量

対象36工場の年間暖房負荷は、約3,600Gcal/年、年間総湯負荷約690Gcal/年、年間冷房負荷約1,300Gcal/年、である。36工場のうち7工場では、プロセス用の蒸気も利用している。

4.3 燃料電池システムの検討

1) 事業形態

事業主体は電気事業者と想定する。発電した電力は一般送電系統に供給する。排熱は組合等の熱供給事業

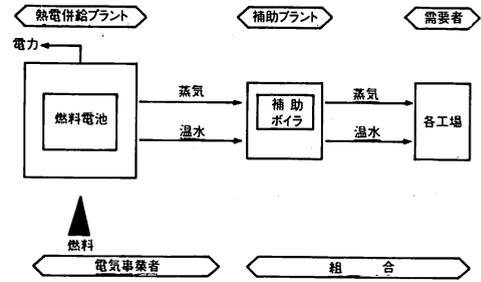


図-5 熱電併給システムの概念

者を通して各工場へ供給する（図-5参照）。

2) 燃料電池システムの運転方法

負荷（電力または熱）追従型の運転ではなく、発電効率の高い定格運転とする。そのパターンとしては、終日フラット運転と昼夜分割定格運転を想定する。

3) 燃料電池システム

燃料電池システムのハードウェアは、現在国内でも実験が開始されている1.2MWのユニット4基とし、さらに1基を余備とし休止することなく運転が可能となるようにする。

システムの構成を次に示す。

- ・燃料電池 1.2MW/ユニット×5ユニット
- ・補助ボイラ 蒸気発生量 1.5t/h、ボイラ効率 0.8
蒸気圧力 10kg/cm²G
燃料 都市ガス
- ・貯湯槽 160t、熱損失率 0.1
- ・温水ポンプ

燃料電池システムから供給される温水、蒸気では不足する時間帯には、貯湯槽および補助ボイラを使用する。

4.4 省エネルギー性

工場団地に燃料電池による熱電併給を実施する場合の省エネルギー性を、同システム適要時のエネルギー消費量と従来の個別方式によるエネルギー消費量を比較して評価した。個別方式は、各工場ごとにボイラを設け蒸気・温水を供給し、電力は現在電力会社で一般に発電されているシステムとする。

システムの省エネルギー効果を図-6に示す。従来システムとくらべて、終日フラット運転の場合で26%（石油換算で3,200kl/年）、昼夜分割運転の場合で28%（石油換算で2,700kl/年）もエネルギー消費量が削減されると評価された。後者は、夜間は2ユニット（2.4MW）で運転するものである。

4.5 経済性

燃料電池システムによる工場団地に対する地域熱供



図-6 システムの省エネルギー性

給システムの経済性評価の結果を次に示す。

1) 評価方法

① 燃料電池プラントからの排熱単価 (qw)

$$qw = (Fc + Rc - e \times Es) / Qc$$

Fc: 燃料電池システムの年間固定費

Rc: " 年間稼働費

e: 発電単価 (20, 25, 30円/kWhに設定)

Qc: 年間排熱利用量

燃料電池の建設単価(補機類を含む)は、20万、30万、40万円/kWhの3ケースを設定、燃料(天然ガス)単価も5、10、15円/1,000kcalの3ケースを設定し試算した。

② 地域熱供給システムの熱単価 (qt)

$$qt = (Ft + Rt) / Qt$$

Ft: 地域熱供給システム年間固定費

Rt: " 年間稼働費(排熱購入費、補助ボイラ燃料、動力・人件費、維持管理費等)

Qt: 年間温熱供給量

③ 従来システムの熱単価

個別に暖房、給湯をした場合の熱単価を求め、燃料電池システムによる場合と比較する。熱供給対象36工場は、熱負荷規模がさまざまである。そこで暖房給湯最大負荷から4グループに分け、熱単価を試算した。

2) 評価結果

以上の前提にもとづいて評価した結果について、温水の場合を図-7に示す。蒸気については、1工場だけにしか供給しないので、ここでは省略する。

従来システムで最っとも熱単価の安いグループAと

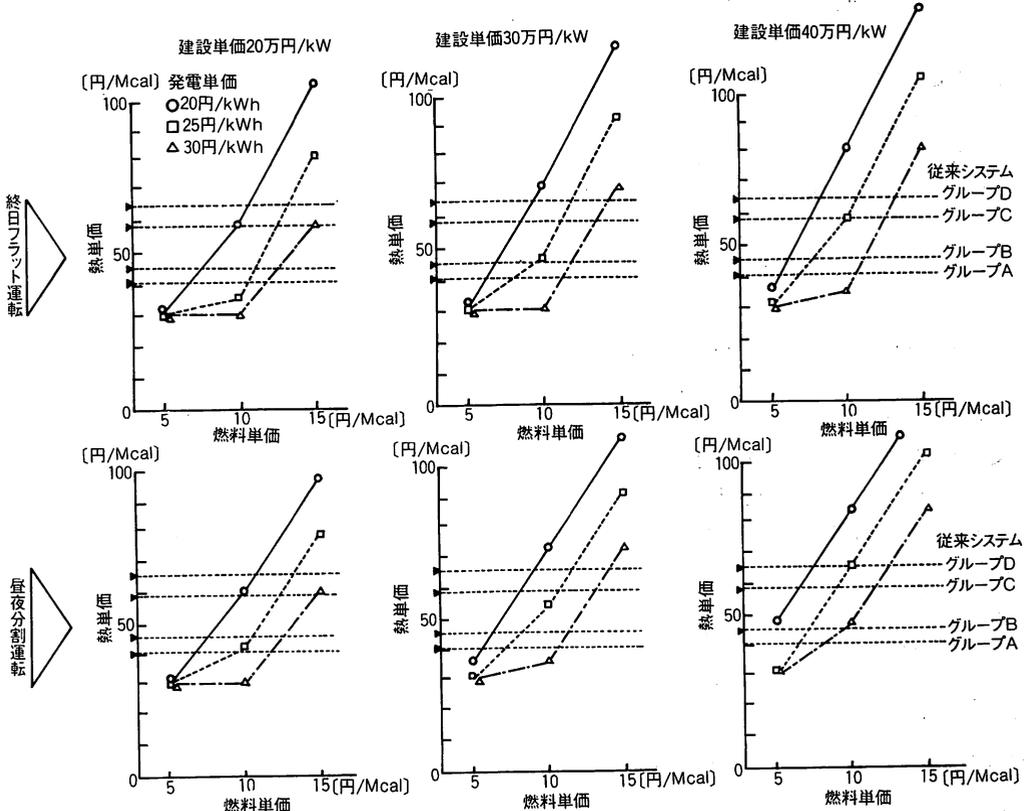


図-7 地域熱供給システムの熱単価(温水)

比較すると、経済的に有利となるのは次の場合である。

① 終日フラット運転

燃料電池の燃料単価が約11～12円/Mcal、発電単価が25円/kWh以上であること。

② 昼夜分割定格運転

終日フラット運転の場合より厳しい条件となり、燃料単価が10円/Mcal以下、発電単価は30円/kWh程度、建設単価は30万円/kW以下の必要がある。

ただし、小規模の熱負荷を有する工場との比較では、経済性が認められる。蒸気の場合についても、温水と同様の傾向であった。燃料電池の場合、発電効率も高く終日フラット運転した方が省エネルギー性、経済性の向上につながる。

4.6 課 題

以上の検討から、今後の課題を次に示す。

- ① 燃料電池システムの省エネルギー性は高い。しかし経済性については、十分とは言えず、システムの具体化に際して残された課題となる。
- ② 現在技術開発の途上であり、いかに低廉なシステムを開発するかが重要である。
- ③ 検討対象とした地区は、熱需要の絶対量も少なく、年変動、日変動も大きく熱電併給システムの導入対象としては必ずしも適当ではない。中低温熱需要が大量に安定的にある業種工場（染色、食品、電子機器等）が集積する地区が望しい。
- ④ 低廉な燃料の安定的な確保（特約料金制の導入）。本スタディのように熱需要条件が十分とはいえないケースでも、燃料価格が低廉であればシステムの経済性が確保される可能性がある。
- ⑤ 燃料電池システムの場合、ガスタービンによる場合ほど排熱回収に大きな設備投資を必要としない。さらに蒸気タービンによる熱電併給のように、排熱利用により発電効率が下がることもない。今後の技術開発により、需要地接近型の発電システムとして位置づけられる可能性がある。

この場合、燃料電池プラントを低廉な排熱を供給する「熱源」と考えることができる。「廃エネルギー」並みの価格とみるならば、このシステムの経済性は高いものとなる。

発電効率が熱利用によって低下することがないという利点があり、燃料電池から発生する電力と熱をどのように評価するかが重要である。

5. ま と め

5.1 工場排熱による企業間エネルギー共同利用

工場排熱による企業間（1対1）エネルギー共同利用は、種々の問題をかかえている。しかし事例でも紹介したように、諸問題を解決し大きな成果をあげているものも数多く存在する。企業内で利用しきれずに捨てられている熱エネルギーの外部での再利用あるいは、近隣で捨てられている熱エネルギーを内部にとりこみ利用出来ないかを検討する価値は十分ある。

5.2 熱電併給システム導入の意義

熱電併給システムは、1工場、工場群、地域社会において、エネルギー利用効率の高いトータルエネルギーシステムとして導入が以下の理由から期待される。

- ① 省エネルギー効果がきわめて大きい。
- ② 経済性が確保される可能性が十分ある。
- ③ 需要地接近型の電源開発である。
- ④ クリーンなエネルギー供給（特に燃料電池の場合）が可能である。
- ⑤ 地域におけるエネルギーコア（核）としての役割を果たす可能性がある。

5.3 熱電併給システム普及上の課題

1) ハード面の研究開発

- ① 蒸気タービン、ガスタービン等の既存発電技術については発電効率の向上。
- ② 高効率ガスタービン・蒸気タービン複合サイクルシステム、燃料電池システムの技術開発。

2) ソフト面の研究開発

- ① 熱電併給システムの賦存量調査。現在のエネルギー供給システムへの程度熱電併給システムが導入可能か、熱と電力の需要、燃料供給上の制約、及び今後の技術開発状況などを総合的に検討し把握する。
- ② 熱電併給のような中規模分散型発電システムと現行の巨大発電システムとの関係、位置づけを明確にする。
- 3) 制度面の見直し
 - ① 電気事業法の改訂。熱電併給システムに適合した事業形態が可能となるようにする。
 - ② 熱電併給システムと一般の送電系統との接続を可能な限り進める。
 - ③ 燃料の安定確保（特約料金制度の導入）。

参 考 文 献

- 総合研究開発機構：助成研究 NRS-81-17
「企業間エネルギー共同利用に関する研究」（1983.5）
センチュリ リサーチ センタ(株)