



## シンプソンペーパー Co. に於ける コージェネレーション

石川島播磨重工業 堀 吉之助

### 1. 緒 言

シンプソン製紙会社に於ける IM5000 コージェネレーションも既に 3 号機に至っており 1 号機以来、好調な運転成績と共に、幾多の変遷／改善がなされて来ているのでここに紹介することにした。彼会社のコージェネレーション計画は 1980 年の米国カリフォルニア州の省エネ促進の為のコージェネレーション州条例発効に伴い、検討が始められ、1980～1981 年にフィージビリティ研究により機器選定がなされ、主要機器発注は 1981 年 9 月から開始された。石川島播磨重工業 (IHI 社) の IM5000 ガスタービンは 1982 年 1 月に米国向 1 号機として契約になったわけであるが、その最大理由はガスタービン各種モデルの中で最高効率を保持していたこと、窒素酸化物 ( $\text{NO}_x$ ) 抑制の水噴射運転実績が 3 ケ年以上に亘って成功していたことによるものであった<sup>(1)</sup>。ここで周知のことと思われるが上記カリフォルニア州条例の概略を説明しておきたい。該当州条例は米国連邦政府の公共電力規制条例 (PURRA: Public Utility Regulatory Policy Act) を受けており、且つ米国他州のコージェネレーション振興策とは異なり出力制限 etc が付加されており、次の 3 項目の条件を満たすものであれば、投資額に対して税制面での優遇措置、余剰電力の買上げでの特例措置を享受できるようになっている。

(1) コージェネレーションの発電機端出力は 50,000KW 未満であること。

(2) 発電機端出力および熱出力の半分の合計和が燃料入力に対して 42.5% 以上であること。

注：上記定義は PURPA 効率と称し、コージェネレーション評価上、米国では重要な定義式となっている。

(3) 大気汚染に対して最新の抑制技術を適用していること。

しかしながら、ガスタービン機種を選定にあたっては以上の条件に適合するのは最低必要条件であるが、必要十分条件ではない。

客先としては、より高効率であること、省エネの為の熱出力が追焚なしで工場からの熱需要にマッチしていること etc 採算上の改善を追求すると同時に、信頼性が高く且つ整備面での容易性且つ将来に亘って陳腐化しにくい最新機種にて部品供給 etc 不安のないことが考慮されなければならない。それらをすべて満足するものとして IHI 社の IM5000 ガスタービンが選択されたのである。

シンプソン製紙の IM5000 第 1 号機は 1982 年 10 月に出荷され、カリフォルニア州アンダーソン市のシャスタ工場に設置され 1983 年 5 月に商業運転開始の運びとなった。彼会社との契約に現在 3 号機までに至っており、IM5000 第 2 号機は 1984 年 7 月受注、1985 年 3 月出荷、やはり加州ロスアンゼルス市郊外パモナのサン・ガブリエル工場に設置され、1985 年 12 月に運転開始、第 3 号機は 1986 年 10 月受注、1987 年 7 月出荷、加州モデスト市郊外のリボン工場に据付けられ、1988 年 4 月の運転開始に向けて現在着々と準備が進められている。

既存 2 ケ所のコージェネレーション・プラントは素晴らしい運転実績を残しており、米国のみならず世界的視野で注目を集めている。

世界屈指の大手化学会社ダウ・ケミカル会社は従来 100 台を越える大型ガスタービンを設置運転しているが、FT4 の 2 台を除き他はすべて産業型ガスタービンを採用してきたわけであるが、シンプソン製紙での高効率実績・高信頼実績を高く評価する所となり、シャスタ工場の見学・調査に基づき西独ハンブルグ市郊外のスターデ工場に

(昭和 63 年 1 月 21 日原稿受付)

IM5000を導入することを1982年12月末日に決定した。

この決定は、またシンプソン製紙とは違った意味で技術革新という観点から特筆すべきものと言えるものと思われる。即ち、これらはガスタービンの換装プロジェクトであり、従来から運転していたイタリア国フィアット社のTG20ガスタービン(米国ウェスティング社のW251モデルと同一)を廃棄してIM5000に換装するものであり、所謂 Repowering と称するもので、低効率ガスタービンは高効率GTによって取って替られる方向を示したものである。現在までに3基までの換装を完了しているのはIM5000ガスタービンの優位性が実績にて証明されたものと判断している。

IHIの実績は表1に示す通りである。

表1 IHI ガスタービン実績リスト

|                 | CUSTOMER           | COUNTRY    | STIG | ISO MW | FUEL                        | NOX CONTROL | IN SERVICE | OPERATING HOURS |
|-----------------|--------------------|------------|------|--------|-----------------------------|-------------|------------|-----------------|
| 1               | MEIDENSHA CO.      | Japan      |      | 35     | Liquid                      | Yes         | Aug. 1978  | 3,000           |
| 2               | P.D.B., No.1       | Bangladesh |      | 35     | Liquid                      | No          | June 1980  | 18,840          |
| 3               | P.D.B., No.2       | Bangladesh |      | 35     | Liquid                      | No          | June 1980  | 25,204          |
| 4               | SIMPSON, No.1      | CA, U.S.A. | Semi | 42     | Dual                        | Yes         | May 1983   | 34,959          |
| 5               | DOW CHEMICAL, No.1 | W. Germany |      | 35     | N. Gas                      | Yes         | Feb. 1984  | 27,589          |
| 6               | DOW CHEMICAL, No.2 | W. Germany |      | 35     | N. Gas & H <sub>2</sub> Gas | Yes         | May 1985   | 18,643          |
| 7               | DOW CHEMICAL, No.3 | W. Germany |      | 35     | N. Gas & H <sub>2</sub> Gas | Yes         | May 1986   | 10,392          |
| 8               | SIMPSON, No.2      | CA, U.S.A. |      | 35     | Dual                        | Yes         | Jan. 1986  | 14,603          |
| 9               | P.D.B., No.3       | Bangladesh |      | 35     | N. Gas                      | No          | Sep. 1986  | 2,249           |
| 10              | P.D.B., No.4       | Bangladesh |      | 35     | N. Gas                      | No          | Sep. 1986  | 4,517           |
| 11              | SIMPSON, No.3      | CA, U.S.A. | Full | 50     | N. Gas                      | Yes         | Jan. 1988  | —               |
| 12              | (BABCOCK & WILCOX) | CA, U.S.A. |      | 35     | N. Gas                      | Yes         | Mar. 1989  | —               |
| As of Sep. 1987 |                    |            |      |        |                             |             |            | TOTAL 159,996   |

表2 シュスタ工場コージェネレーションプラントでの信頼性および稼働率

- 1ST YEAR AVERAGE (MAY 22, 1983 TO MAY 21, 1984) = AVAILABILITY 96.24%, RELIABILITY 98.17%.  
 FOR THE CALENDAR YEAR OF 1984, AVAILABILITY IS 96.95% AND RELIABILITY IS 99.23%.  
 2ND YEAR AVERAGE (MAY 22, 1984 TO MAY 21, 1985) = AVAILABILITY 95.59%, RELIABILITY 98.26%.  
 FOR THE CALENDAR YEAR OF 1985, AVAILABILITY IS 94.76% AND RELIABILITY IS 97.89%.  
 3RD YEAR AVERAGE (MAY 22, 1985 TO MAY 21, 1986) = AVAILABILITY 96.41%, RELIABILITY 98.99%.  
 FOR THE CALENDAR YEAR OF 1986, AVAILABILITY IS 95.31% AND RELIABILITY IS 99.05%.  
 4TH YEAR AVERAGE (MAY 22, 1986 TO MAY 21, 1987) = AVAILABILITY 95.26%, RELIABILITY 99.54%.  
 4TH YEAR AVERAGE (MAY 22, 1983 TO MAY 21, 1987) = AVAILABILITY 95.87%, RELIABILITY 98.74%.

表3 シャスタ工場コージェネレーションでの運転成績(初年度)

|                 | MONTHLY<br>HOURS | HOURS<br>OPERATED | RUNNING<br>TOTAL (%) | NUMBER OF<br>H.W. | CURTAINED<br>HOURS (%) | HOURS<br>RESTRICTED | HOURS (2)<br>UNAVAILABLE | HOURS<br>AVAILABLE | PERCENT<br>AVAILABLE | HOURS<br>RELIABLE | PERCENT<br>RELIABLE |
|-----------------|------------------|-------------------|----------------------|-------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|-------------------|---------------------|
| 1983            |                  |                   |                      |                   |                        |                     |                          |                    |                      |                   |                     |
| May (May 22-31) | 240              | 102.2             | 42.6                 | 0                 | 114                    | 0                   | 5                        | 235                | 98                   | 240.0             | 100                 |
| June            | 720              | 521.6             | 72                   | 0                 | 252                    | 0                   | 21                       | 699                | 97                   | 699.0             | 97                  |
| July            | 744              | 595.1             | 80                   | 1                 | 204                    | 32                  | 10                       | 734                | 99                   | 744.0             | 100                 |
| August          | 744              | 729.9             | 98                   | 3                 | 0                      | 0                   | 14.1                     | 729.9              | 98                   | 744.0             | 100                 |
| September       | 720              | 462.1             | 64                   | 3                 | 0                      | 32                  | 25.6                     | 694.4              | 96                   | 712.75            | 99                  |
| October         | 744              | 684.7             | 92                   | 3                 | 0                      | 0                   | 59.3                     | 684.7              | 92                   | 710.2             | 95                  |
| November        | 720              | 689.5             | 96                   | 5                 | 0                      | 0                   | 30.5                     | 689.5              | 96                   | 710.5             | 99                  |
| December        | 744              | 655.0             | 88                   | 3                 | 0                      | 48                  | 41.0                     | 703.0              | 94                   | 713.0             | 96                  |
| 1984            |                  |                   |                      |                   |                        |                     |                          |                    |                      |                   |                     |
| January         | 744              | 347.6             | 47                   | 0                 | 319                    | 0                   | 57.4                     | 486.6              | 92                   | 584.6             | 92                  |
| February        | 696              | 445.2             | 64                   | 0                 | 256                    | 0                   | 0                        | 646.0              | 100                  | 696.0             | 100                 |
| March           | 744              | 722.2             | 97.1                 | 3                 | 0                      | 0                   | 21.8                     | 722.2              | 97.1                 | 744.0             | 100                 |
| April           | 719              | 658.9             | 91.6                 | 4                 | 23                     | 0                   | 27.1                     | 681.9              | 94.8                 | 719.0             | 100                 |
| May (May 1-21)  | 504              | 491.3             | 97.7                 | 1                 | 0                      | 0                   | 6.7                      | 497.3              | 98.7                 | 504.0             | 100                 |
| TOTALS          | 8784             | 7335.6            | 83.51%               | 26                | 1168.0                 | 112                 | 329.5                    | 8453.5             | 96.24%               | 8623.05           | 98.17%              |

なく、逆にプラント・システムとして効率低下を招く水噴射運転を何とか代替技術にて革新できぬとの検討に入ることとなった。

シャスタ工場に於いて、1984年10月より出力増加、熱効率の改善検討の為、工場側での余剰高圧蒸気(4140 kPa × 315℃)を水噴射の代わりに蒸気噴射出来ぬかということであった。検討結果としては燃料ノズルの交換、蒸気ラインの追加、蒸気制御弁の開発が必要ではあるが、その他ガスタービン発電機内部については一切変更なしに蒸気噴射への移行が可能との結論に達した。1985年7月にデモンストレーション開始し、保証テストを同年8月に完了した<sup>(5)</sup>。本技術は STIG (Steam Injection Gas turbine) という名称にて認知されており、シャスタ工場では発電機端出力 32.9 MW から 41.8 MW、発電熱効率 36% から 42% と大いに技術改善がなされたこととなった。1号機は保証テスト完了後、水噴射運転に戻ることなく STIG 運転がその後1年半続けられ現在に至っている。

第2号機の設置場所であるサン・ガブリエル工場では現状高圧蒸気が工場用として使用されていないので、蒸気噴射への移行は改造を要する部分が多いので、現在は水噴射による運転が続けられているが近い将来、上記同様 STIG 化計画が実施されるものと考えられる。

第3号機は、計画頭初より STIG 化にて検討され、上記高圧蒸気のみならず、低圧蒸気(1720

kPa × 232℃)をも同時に噴射すると言う Full STIG 型 IM5000 ガスタービンの採用となり、単基出力にて 49.5 MW の加州条例規定の 50 MW 出力制限一杯まで増加が図られており、発電端熱効率も約 43% と著しい改善となって所謂複合サイクルに極めて近い数値となって来ている<sup>(6)</sup>。

要約して3ヶ所のコージェネレーション・プラントでの主要目・諸元および主要機器供給メーカーを紹介しておこう。

#### A. 1号機 IM5000 コージェネレーション

設置場所: 加州アンダーソン市シャスタ工場

運転開始: 1983年5月

諸元要目: 発電機端出力 32,900 KW

蒸気発生量 49 T/Hr

(4140 kPa, 520 kPa, 103 kPa の合計)

天然ガス/液体燃料自動切換方式

排ガス規制対策 水噴射方式

(規制値 52 kg/Hr : 75 PPMVD 相当)

吸気フィルタ 蒸発冷却器付

フィルタ交換式

ガスタービン 2重エンクロウ

シャ内設置

全シジシ制御 ケタログ1重式

主要機器: ガスタービン IHI

発電機 YAM Electric Machinery

排ガスボイラ Henry Vogt

ガス圧縮機 Dresser-Rand  
 フィルタ消音器 Burgess  
 プラント制御 Fisher

## B. 2号機 IM5000 コージェネレーション

設置場所：ロスアンゼルス市郊外パモナ  
 サン・ガブリエル工場

運転開始：1985年12月

諸元要目：発電機端出力 33,300kw  
 蒸気発生量 49t/Hr  
 (1720kPa, 520kPa の合計)

天然ガス/液体燃料手動切換方式  
 排ガス規制対策 水噴射方式  
 (規制値 52kg/Hr : 75PPMVD  
 相当)

吸気フィルタ 蒸発冷却器付  
 自己洗滌式

ガスタービン 2重エンクロー  
 ジャ内設置

エンジン制御 アナログ1重式

主要機器：ガスタービン IHI

発電機 Brush

排ガスボイラ Henry Vogt

ガス圧縮機 Atlas-Copco

フィルタ消音器 Farr

プラント制御 Westinghouse

## C. 3号機 コージェネレーション

設置場所：加州モデスト市近郊リボン工場

運転開始：1988年4月予定

諸元要目：発電機端出力 49,500KW  
 蒸気発生量 63t/Hr  
 (5240kPa, 1030kPa, 170kPa の  
 合計)

内工場蒸気需要 20t/Hr

天然ガス専焼方式

排ガス規制対策 蒸気噴射方式  
 & SCR 設置

(規制値 15% O<sub>2</sub> 換算 9PPM  
 VD)

吸気フィルタ 蒸発冷却器付

フィルタ交換式

ガスタービン 2重エンクロー  
 ジャ内設置

エンジン制御 デジタル3重式

主要機器：ガスタービン IHI

発電機 Electric Machinery

排ガスボイラ Deltak

ガス圧縮機 Worthington

フィルタ消音器 Farr

プラント制御 Westinghouse

但し、1号機 コージェネレーションは1985年8月より余剰高圧蒸気を利用しての蒸気噴射方式に切換っており、次の如く諸元が変っている。

### A. 1号機 コージェネレーション

運転開始：1985年8月

諸元要目：発電機端出力 41,800kw

排ガス規制対策 蒸気噴射方式

(NO<sub>x</sub>排出レベル 25PPMVD以  
 下)

### 3. プラント構成

コージェネレーション・プラントであるので主要機器構成としては勿論、電力発生のためガスタービン発電機および蒸気発生のため排ガスボイラとなるわけであるが、それに加え大気汚染防止のための純水供給装置、騒音規制のための各種防音装置/パッケージ、燃料ガスの圧力を所定値まで昇圧するためのガス圧縮機、プラント全体をまかなう冷却水設備、etc が欠かすことのできない重要な補機装置類となる。またシステムとしては簡単な吸気蒸発冷却器も大気温度が高い場合にも発電機端出力を相当程度確保する意味でも重要機器として入れても良いかもしれない。

本節では、しかしながら、ガスタービンを中心とした主要機器につき述べるものとし、補機類は別節に譲ずるものとする。

2号機のサンガブリエル工場のコージェネレーション全景写真を図1の如く示す。

図1でわかる通り、排ガスボイラを除いては、主要機器/補機器はビルディング内に設置されている。

#### 3-1. ガスタービン

最も重要な構成機器であり、コージェネレーション・プラントの成否の鍵を握るものであり、高効率・高信頼性・整備容易 etc の種々の観点から最良の選択をする必要がある。シンプソン製紙での3ヶ所のコージェネレーションプラントではIHIのIM5000 ガスタービンが使用されている。

図2に示す如く、IM5000ガスタービンはGE社製のLM5000ガス発生機とIHI社製のITA1203出力タービンから構成されるもので、軸端出力50,000HP、熱効率38%と現在の高スタービンの中で単純サイクルにて最とも高効率を保持する第2世代GTの代表モデルである。また前節にて述べた如く近年の蒸気噴射サイクルを適用して70,000HP、熱効率43%迄改善されることになる<sup>(6)</sup>。

LM5000ガス発生機はGE社の量産エンジンCF6-50ファンエンジンから転用したもので、

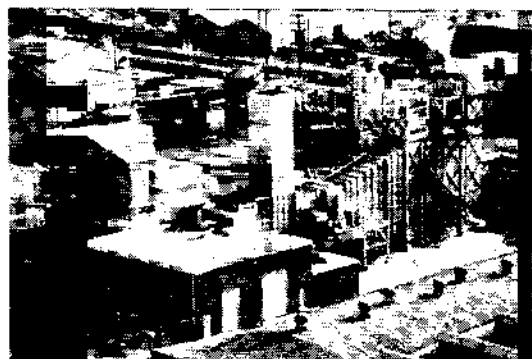


図1 パモナ地区サンガブリエル工場  
コージェネレーションプラント全景

A300、DC-10、B747などにて数千万時間の飛行実績を持っておりその実績は高く評価されている。相互の共通部品は80%に達しており、高信頼性を保持すると共に長期に恒る部品供給が問題なく確保できる利点もあるので使用者にとっても安心して運用できる陸用においてもIHI社の10台の実績を中心に、15万時間以上の運用が高稼働率にて確保されている。ITA1203出力タービンは2000rpm~4200rpm迄の広範囲の速度レンジをカバーできる様に設計されており、片持染の産業型設計構造となっており、オーバーホール間隔は10万時間と設定されている。

3段軸流にて翼端シュラウドを採用することでタービン効率も90%に達している。50Hzおよび60Hzでも出力タービンは同一であり、世界各地での周波数の違いに拘らず、一本化した部品供給体制を敷くことが出来るので、客先および製造者にとってもメリットがある。

従って1号機完成より早や10年が経過しているが出力、効率にてこれを凌駕するガスタービンは現出しておらず、産業型および航空転用型を問わずすべてのガスタービン機種の中で、現在最も効率指向に優れたエンジンと云える。

軸端出力36MW(不含吸/排気損失)

軸端熱効率38%(不含吸/排気損失)

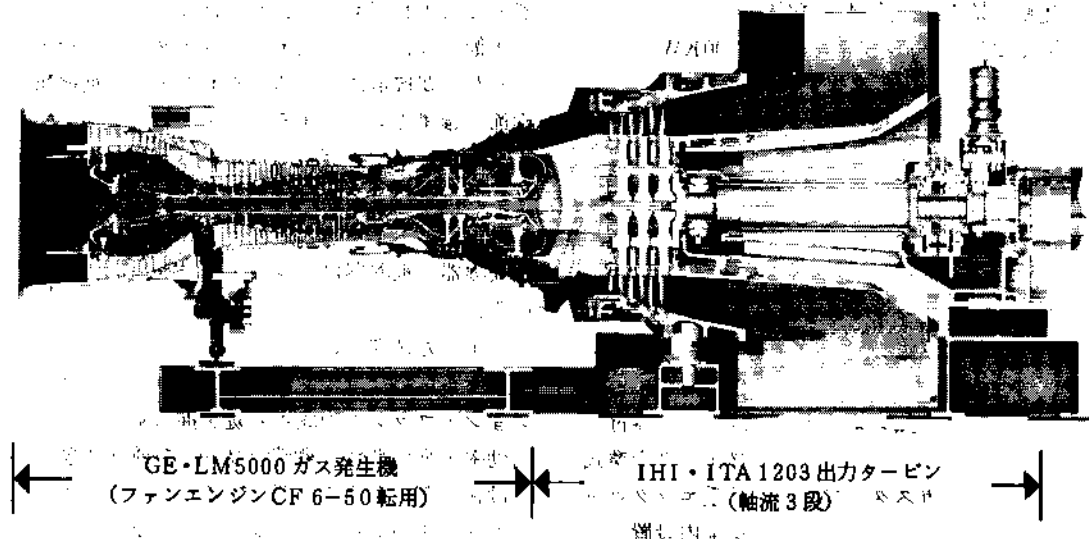


図2 IHI IM5000 ガスタービン断面図

### 3-2. 発電機

いずれのプラントに於いても、水空冷式 (TEWAC) ブラジレス 3 相交流発電機が選択されている。

水空冷式が選ばれたのは、主として室内/屋外騒音を押えるためであり、機側1mにて90~91dB(A)が確保されている。

発電機容量として初めの2プラントにて39 MVA、最新のリボン工場に於いて58 MVAが採用されているが、定格は力率85%、絶縁F種、且つ温度上昇B種相当にて定められているので、1号機シャスタ工場の如く33 MWから蒸気噴射(Semi-STIG)応用にて42 MW出力アップに対しても十分対応できる設計になっている。上記はすべて屋内設備である。

### 3-3. 排ガスボイラ

いずれのプラントでも、屋外型にて自然循環式のモジュール設計のものも採用されており、優秀

な成績を残している。ドラム数は各工場での蒸気需要により異なっているが2基もしくは3基にて構成されている。蒸気発生量は高/中/低圧を含め合計で約50~60 t/Hr(追焚きなしにて)となっている。ガスタービン温度は400~430℃であり、排ガスボイラにて排熱回収され、煙突出口温度は135~150℃となるように設計されている。

尚、最初の2プラントではボイラ入口部にバイパス煙突を設け、ガスタービンの単独運転が可能であったが、最新のリボン工場では NO<sub>x</sub> 9 PPMVD 規制は蒸気噴射によって達成できないのでバイパスは設けておらず、且つボイラ内部に SCR を装備する必要があった。

#### 4. プラントのヒートバランス

図3、図4の如く水噴射ならびに蒸気噴射の適用の違いによるプラントのヒートバランスを示す。即ち水噴射プラントでは、吸気温度15℃状態に於いて天然ガス燃料、約91,500KW入力に対し

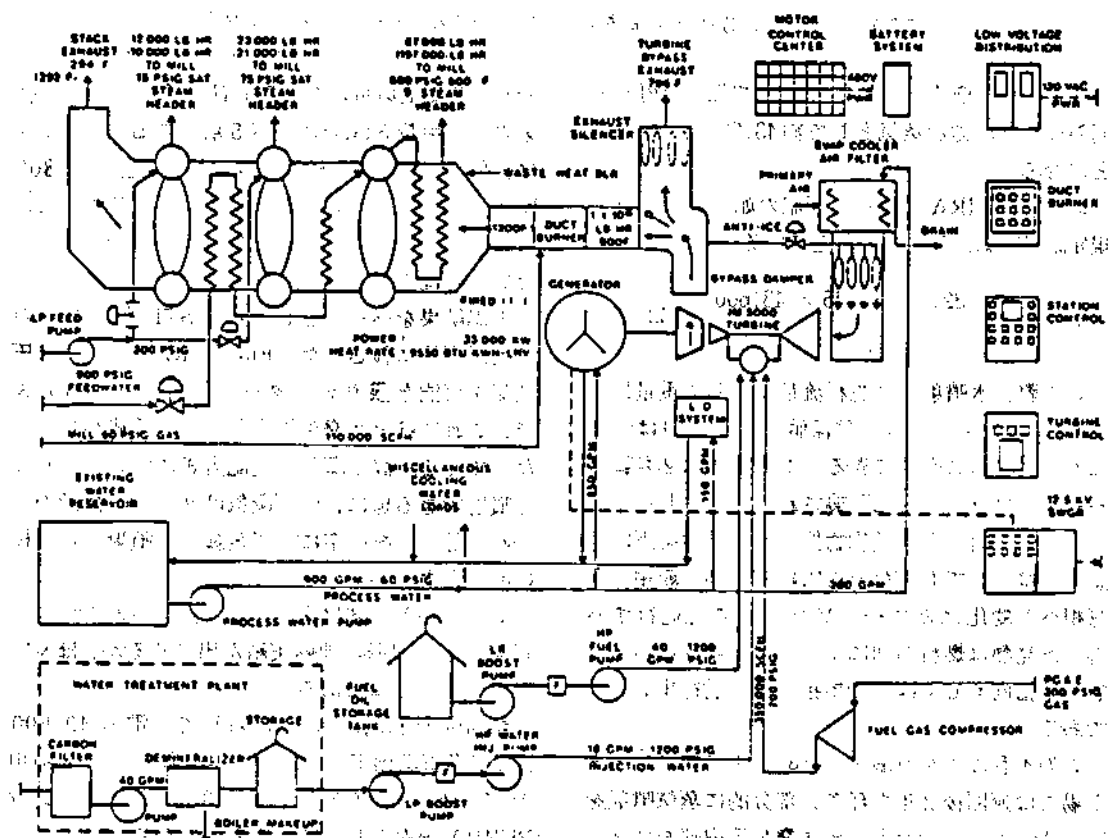


図3 シャスタ工場コージェネレーションプラントヒートバランス

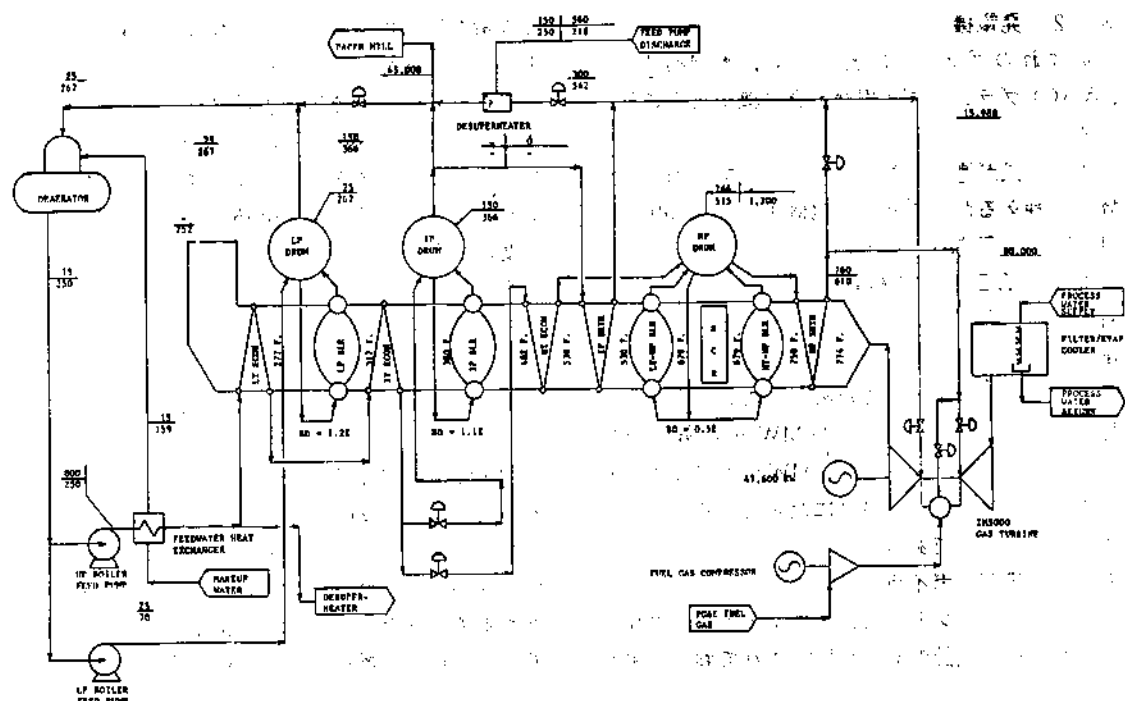


図4 リボン工場コージェネレーションプラントヒートバランス

て、電力32,900KW（発電熱効率36％）を得ると同時に、熱出力を蒸気として約43,600KW得ることになる。

即ち、PURPA 効率は、下記の如く算出され、規定値42.5％を大巾に超えている。

$$\eta_{\text{PURPA}} = \frac{32,900 + 0.5 \times 43,600}{91,500} = 59.8\%$$

この際、水噴射量は燃料流量に対して重量比にて60％となっており、目標値75PPMVDは十分にクリアすることができる。この方式は2号機のパモナ・プラントまで踏襲されている。しかしながら、水噴射は窒素酸化物抑制上炎温度を下げる意味では極めて有効な方法ではあるが、液相から気相への変化はガスタービン内部にて進行する為、蒸発熱は燃料追加によって補わねばならず、省エネ指向もしくは高効率指向には逆行する方式である。

この不利な点を克服するため、1号機シャスタ工場では運開後2年を経て、部分的に蒸気噴射を実施する所となった<sup>(5)</sup>。ガス発生機内部を変えずに、圧縮機出口および燃料ノズルより蒸気噴射さ

せた。蒸気噴射量は最大29t/Hrとなっており、従来の水噴射量5t/Hrに較べ5倍である。その結果は、燃料入力100,400KWに対して電力41,800KW（発電熱効率41.8％）を得ることができた。窒素酸化物排出レベルも目標値25PPMVD以下となることは確認できている。

上記結果をベースとしてFull STIGプラントの計画が実施に移された。Full STIGとは高/低圧蒸気を可能な限りガスタービンに噴射する方式で、これにはガス発生機内部構造の改造が必要となってくる。高圧蒸気は上記方式にて且つより多く噴射できる様に、低圧蒸気はタービン後段のノズル（静翼）を中空にして後縁から噴射できる様に改造した。

ヒートバランスは図4の通り計画されており、1988年4月以降に運転実績が出てくるが、ほぼ間違いのない数値である。

燃料入力115,500KWに対して、電力49,500KW（発電熱効率42.8％）、熱出力として工場用のプロセス蒸気として15,300KWを得る。PURPA 効率としては、次の如くなる。

$$\eta_{\text{PURA}} = \frac{49,500 + 0.5 \times 15,300}{115,500} = 49.5\%$$

これは一見、水噴射プラントに比して効率が低下している様に錯覚されようが、プロセス蒸気がこれ以上不要なこと、また根幹となる発電熱効率が相対的に約20%改善されており、通常複雑な複合サイクルに極めて近いプラント効率であり、客先にとっても、単なる定義以上の魅力あるプラント数値となっていると判断される。

## 5. ガスタービンの各システム

### 5-1. 燃料システム

1号機ジャスタ工場では、天然ガス/軽油自動切換方式が採用された。天然ガスはガス会社からの保証供給圧が2720kPaとガスタービン所要圧力4140kPaに不足するので、水平対向往復動圧縮機2台(各100%容量)を備えつけた。軽油は従来からあるタンクを改造して貯蔵し、専用の電動昇圧ポンプ1台を装備した。

2号機では1号機の例から、ガス供給停止が2年間にて只1回のみだったこと考慮して、自動切換はやめ、手動切換方式とした。

3号機ではSTIG方式なので、天然ガス供給停止は原則として考慮しないことで、軽油ラインは設置していない。

### 5-2. 潤滑油システム

システムとしての変更は一切ないが、出力増加に伴い、冷却器の容量は大きくなっている。

ガス発生機用としてエステル系合成油(MIL-L-23699)、出力タービン・発電機共用として鉱物油(タービン油120番相当)を使っていることに変わりはない。

### 5-3. 冷却水システム

これも大きな変更はない、プラント全体として3400~4000リットル/毎分の容量となっている。

ガスタービン用としてはその内1000リットル/毎分を使用するに過ぎない。

プラント用途としては、上記潤滑油冷却の外、発電クーラ冷却、ガス圧縮機シリンダ冷却があるが、他の大きな用途としては次項で述べる吸気蒸発冷却器用として、約750リットル/毎分がある。

### 5-4. 吸/排気システム

吸気フィルタ、吸/排気消音器の設置などシス

テムとして他のGTプラントと共通の事柄が多いが、シンプソン製紙の各プラントは吸気フィルターの一部に蒸発冷却器を採用した割合初期の例であり、且つ十分なる効果を有しているので説明する。

米国加州は特に夏期に乾燥しており、温度40℃湿度20%ということは珍らしくない。そのまゝではガスタービンの出力低下とともに、排ガス量の低下も厳しく蒸気量も減少してプラントとしての機能低下をきたして思わしくない。そこで通常の市水を利用して吸気内にて蒸発させ、その潜熱により吸気温度を15~20℃下げることが出来るのでその効果により出力増加を15~20%獲得できるのである。

大気は先ずルーバを介してプリ・フィルタに入り、粗粒子は除去され、小さな粉塵などはメッシュの細いメイン・フィルタにて更に取除かれ、ガスタービンにクリーンな空気を吸い込ませるのが通常である。

シンプソン製紙の各プラントでは、その途中、セルロースを使った蒸発冷却器を採用している。即ちセルロースのヒダに常時市水を供給し、乾燥空気を通過させることにより相対湿度は100%となり、潜熱により15℃冷却させるのは容易である。

但し、このシステムは欠点もあり吸気システムが常に100%湿度に曝されているので、錆対策には十分注意を要し、ステンレス内張etcが必要となってくるので、費用対効果は念頭に置かねばならぬ。

### 5-5. 水洗滌システム

ガスタービン特にその圧縮機では汚れに対しての性能劣下が敏感なので上記フィルタの選定には十分なる検討が必要となるのは言うまでもないが、現存のフィルタではどれを採用しても万全ではなく、約1ヶ月毎のガスタービン洗滌が実施される。

シンプソンではガスタービン停止して、圧縮機のみならず、タービン部についても燃焼ノズルの水/蒸気ラインを使用して水洗して、万全の汚れ除去がなされるよう装備されている。

### 5-6. 制御システム

ガスタービンを制御するガバナとしては最初の

2プラントではアナログ1重式のウッドワード社製の定評ある43027モデルを採用している。しかしながら客先は頭初より、計装および制御系については冗長システムを望む意向があったので、上記43027ガバナは現地に予備ガバナ一式を最低1年間保管し、且つ常に電源を入れておき、緊急の際にも直ちにバックアップ交換できるようにしておいた。3号機に於いては予備を持ちこと無く、IHI製の3重冗長系のデジタルガバナを採用した。それに加えシーケンサ、データ収集装置および自己診断機能を保持する制御操作パネルはすべてIHI製に変更された。3重冗長系を採用することにより、1つの系に異常があっても残り2重系で運転続行でき、その修理も運転中可能となるので、計装不具合によるプラント停止は今後、皆無となる。

## 6. 運転実績

現在稼働中のシヤスタ工場およびパモナ工場において、ガスタービンの信頼率98%、稼働率95%が数年に担って確保されている。実績として表2および表3に示す如く、類例を見ない高稼働率にて、航空転用型ガスタービン特にIM5000の高信頼性が実証されたものと言えよう。この結果はガスタービン供給者の功績だけでなく、客先オペレータの面密な運転計画、且つメンテナンス整備の周致な実施などの功績も寄与する所大きいものと言わざるを得ない。

特に蒸気噴射運転においては、燃料も天然ガスのみ、窒素酸化物抑制のための蒸気も、ガスタービン内部にて液相/気相の変化がなく、より安定した燃焼を得ることになると見ており、今後の運転結果を期待とともに見守って行きたい。

## 7. むすび

シンプソン製紙会社におけるコージェネレーションの実際について述べてきたが、1号機、2号機と単なるリピータでない、ステップ毎の改善、新システム(特に蒸気噴射)の導入など、毎回新しい技術目標をもって、工事展開できたこと、且つその結果としての運転実績が良好であったことは技術者としての生き甲斐のあることであった。

特に3号機の蒸気噴射サイクル(STIG)は今後のガスタービンプラントの方向を十分に示唆したものと考えている。

—ガスタービンの熱効率改善—

発電端熱効率が単一機関として43%に達することになり、ディーゼル機関、ガソリンエンジン等の容積式機関に較べて遜色がない。

—位コストの実現—

機器数の多い複合サイクルを採用することなく上記熱効率達成できており、はゞ通常のコージェネレーションの同一の機器構成にて出力増加50%を確保できるので、機器費としては各種機関の中で最安価のものとなり得る。

—大気汚染対策容易—

窒素酸化物排出レベルは15%酸素濃度において25PPMVDは達成可能であり、脱硝装置なしにプラント構築することもできる筈である。昨年4月以降に50,000KW単一機によるIM5000ガスタービンの蒸気噴射サイクル実現となるので、その運転成績は注目して行きたいし、今後それについて述べる機会があると信じている。

[以上]

## 引用文献

- (1) de Biasi, V., Gas Turbine World, July 1982
- (2) Jeffs, E., Gas Turbine World, May 1985
- (3) Aumann, M., "Repowering with IM5000 Gas Turbines Improves Cogeneration at Dow Chemical Stude", 87-TOKYO-IGTC-111
- (4) Moeller, D. & Kolp, D., "Simpson Paper Co.: First 35MW IM5000 in Cogeneration Plant" ASME-84-GT-55
- (5) Burnham, J., Giuliani, M. & Moeller, D. "Development, Installation and Operating Results of a Steam Injection System (STIG<sup>TM</sup>) in a General Electric LM5000 Gas Generator." ASME-86GT-231
- (6) Oganowski, G. "LM5000 and LM2500 Steam Injection Gas Turbine" 87-Tokyo-98
- (7) Takeo, K. & Shimura, Y. "Development of 20,000 to 50,000 HP Aircraft-Derivative Gas Turbines" ASME-82-GT-23