

佐々木 洋三^{*2} 山元 深^{*3} 小泉 進^{*4}

Utilization of Steel Making Energies in Mizushima Industrial Complex

Yozo Sasaki, Fukashi Yamamoto, Susumu Koizumi

要旨

水島製鉄所は業界に先がけてコンビナートに種々のエネルギー（副生ガス、電力、及び酸素、窒素、アルゴン等の空気分離製品）を供給して、地域社会のエネルギー経済に寄与すると共に製鉄所のエネルギー需給の効率的、経済的な運用をはかっている。

空気分離製品、都市ガス等直接ユーザーに使用される製品ガスが増加し、付加価値を高めて供給する段階となった。さらに、一酸化炭素を C_1 化学原料として供給する計画があり、コンビナート間の結びつきを一層強め、製鉄エネルギーの利用法は新たな展開を迎えようとしている。

Synopsis:

Mizushima Works takes the initiative in supplying various types of energy to Mizushima Industrial Complex, and such energy supply is going on smoothly. Such energy includes electric power generated by Joint Thermal Power Plant, gases produced by its air separation plant (oxygen, nitrogen and argon), and other by-product gases. The energy supply has efficiently satisfied the energy demand in Mizushima Works.

The supply of more valuable energy used directly by consumers, such as oxygen, nitrogen, argon and town gas, has increased. Moreover, the project of supplying carbon monoxide as C_1 chemistry raw material is going to reinforce the close ties between Mizushima Works and Mizushima Industrial Complex, and the use of by-product gases has turned a new page in its development.

1 緒 言

水島コンビナートは我が国の代表的な総合コンビナートであり、現在、自動車、鉄鋼、石油精製、石油化学、電力、食品、造船、機械等 78 社が生産活動を行っている (Photo 1)。コンビナートは原料、燃料、製品等各企業の特徴を生かし、相互に効率的な利用を図っており、かつ大型港湾設備、用水、道路等を共同利用し、その有利性を生んでいる。

一方、二度にわたる石油危機により、我が国のエネルギー供給構

造の脆弱性が問題となり、エネルギーコストの低減が重要課題となった。各企業は省エネルギーおよび石油代替エネルギーの導入等を積極的に推進した。この結果、個々の事業所単位での省エネルギー対策から、企業の壁を越えて相互に未利用エネルギーを融通する時代になりつつある。

製鉄所はエネルギー消費量が多く、なお温度レベルの比較的高い未利用エネルギーが残され、エネルギー供給の潜在力がある。製鉄エネルギーは石炭系エネルギーで、石油代替エネルギーとしての競争力を持ち、国際環境変化に強い安定したエネルギーとして評価される。この意味でコンビナート内に位置する水島製鉄所はコンビナートに対するエネルギー供給を将来とも伸ばせる可能性を持っている。本論文では、水島製鉄所からコンビナート等へのエネルギーの供給について、概要を報告する。

2 水島コンビナートの産業間共同エネルギーの可能性

通商産業省では昭和 57 年度から「産業間共同エネルギー対策推進調査」を実施することになり、広島通商産業局は局内に「水島地区産業間共同エネルギー対策検討委員会」を設置して、2 年間、主要 37 工場を対象とした未利用エネルギー等に対する調査と共同エネルギーの活用について検討した¹⁾。この地区で排出される温水、気体顕熱、固体顕熱などの廃エネルギー量は年間 $23\,640 \times 10^9$ kcal (原油換算 $2\,515 \times 10^3$ kl 昭和 56 年度) に達している。しかし、廃熱エネルギーの温度レベルは温水等低温度レベルの廃エネルギーが 5

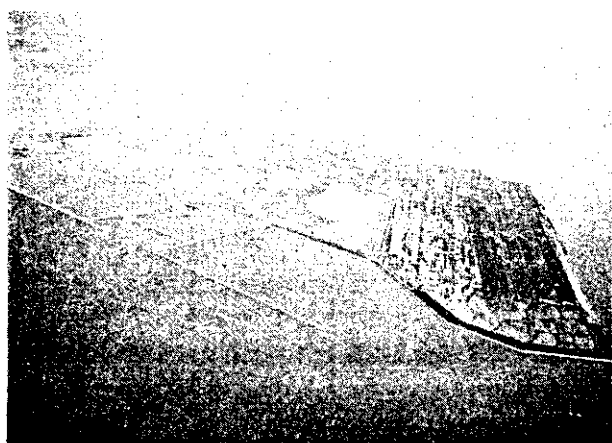


Photo 1 General view of Mizushima Industrial Complex

* 1 昭和 60 年 4 月 1 日原稿受付

* 2 水島製鉄所エネルギー部エネルギー技術室主査 (課長)

* 3 水島製鉄所エネルギー部部長

* 4 水島製鉄所エネルギー部エネルギー技術室主査 (掛長)

割以上を占めて、廃ガス温度レベルも 200°C 以下の占める割合が多く、温度レベルの高いものは、製鉄所の固体顕熱に限られる状況であった。一方未利用エネルギー活用可能性として、各企業での導入可能なエネルギーは、年間 5.110×10^9 kcal (原油換算 550×10^3 kl) で、副生ガス、蒸気、電気であり、既存のエネルギー価格に対し十分対抗できる価格を希望している。水島製鉄所は水島共同火力株式会社を通じて電気を地域に供給しているが、電気は技術的、制度的、法的に企業間の供給は問題があり、共同エネルギーの具体化は現状では難しい。また、外販可能なエネルギーは、石油精製工場等では積極性はみられないが条件次第で外販可能としている。製鉄所は、廃エネルギーを回収し、これを需要に応じて、ガス、蒸気等に置換し外販する潜在的可能性を持ち、他業種企業と大きな差がみられる。

一方将来のコンビナートのエネルギーとして、石油製品需要の軽質化により、重質油対策で生まれるエネルギーが価格競争のあるものと考えられる。このため同委員会が重質油共同処理センターの検討がなされた。このセンターの大規模投資は、軽質分と重質分の異常な価格差がない限り経済的に難しく、ほとんど実現できないとの結論となった。こうした調査結果からも、コンビナートでの製鉄エネルギーが供給源として新しく注目され、期待も大きくなっている。

3 空気分離装置による製造ガスのコンビナート等への利用

3.1 空気分離装置の概要

製鉄所は多量の酸素、窒素、アルゴンを使用しており、これらを製造するため大型の空気分離装置を設置している。空気分離装置は空気を原料とし、空気中の酸素、窒素、アルゴンを沸点差(酸素

-183°C, アルゴン -186°C, 窒素 -196°C) を利用して分離精製する。Fig. 1 に製造フローを示す。原料空気は圧縮機により約 5 kgf/cm² に圧縮され、可逆熱交換器により製品ガスや送気ガスと熱交換を行い、飽和点付近まで冷却され、精溜塔の下塔に入る。下塔では下部に約 40% の酸素純度の液体空気がたまり、上部に窒素が分離される。液体空気はさらに精溜塔の上塔に送られ、約 0.5 kgf/cm² で再び酸素、窒素に精溜分離され、上塔下部より高純度酸素(99.6%)を、上部より高純度窒素(99.99%)を取出す。分離された酸素、窒素は原料空気と熱交換を行い、大気温度付近まで温度回復して送り出される。プラントの寒冷ロス膨脹タービンの断熱膨脹により補われる。このため空気分離装置では原料空気の圧縮に多量の電力を必要とし、水島製鉄所での最大電力消費設備であり、所内電力の約 15% を使用している。そのため高純度酸素、窒素は電力の高付加製品でもある。

3.2 コンビナート等での空気分離製品の利用

水島コンビナートで必要とする酸素は主に電炉工場の溶解、脱炭用、造船等での溶断用、化学工業での酸化用等であり、窒素は不活性ガスの特質を生かして、化学工業での防爆用等で近年需要が増大している。水島コンビナートには設立時期に空気分離装置でのコンビナート構想がなく、化学工業やガス専業メーカーも小型の空気分離装置を保有している。しかし、コンビナートでのこれらのガスの使用量は少なく、製鉄所の使用量が大部分を占める。製鉄所は設備的に最大級の大型空気分離装置を設置しており、製造電力原単位が低い有利性を持っている。また、石油危機以前に高炉への重油吹込みと同時に多量の酸素を吹込んだ時期の設備であり、他の需要に対し十分供給能力を持っている。

水島製鉄所は早くからコンビナートへの空気分離製品のガス供給を開始しており、近隣企業との結びつきが強い。昭和 47 年 10 月より、隣接する三菱瓦斯化学株式会社へ窒素をパイプラインで供給開

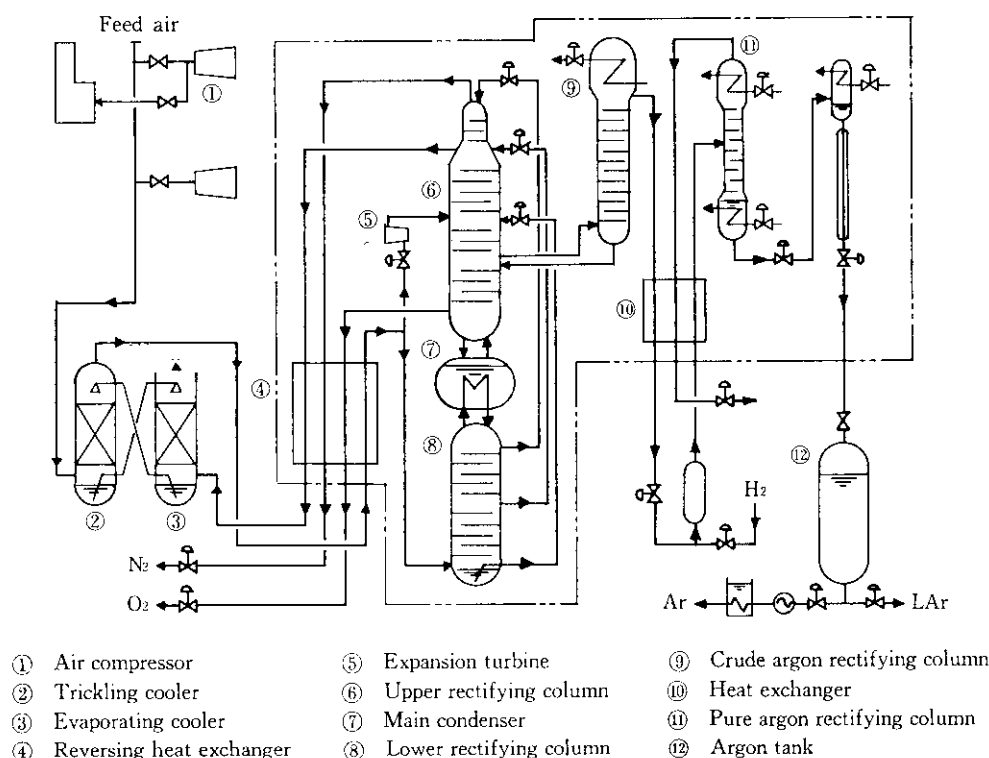


Fig. 1 Flow diagram of air separation plant

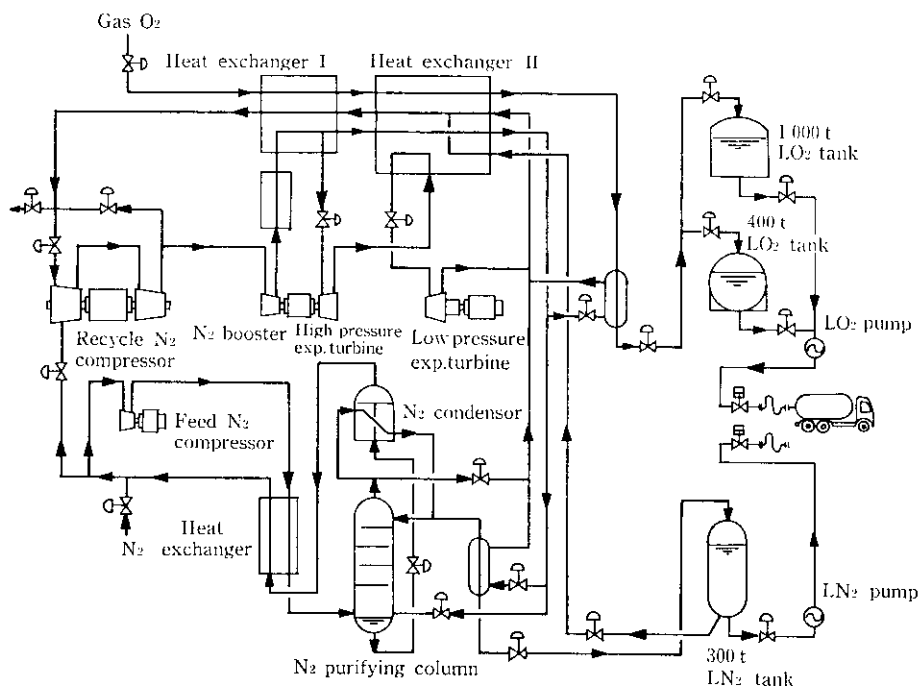


Fig. 2 Flow diagram of liquefying plant

始し、翌年11月には三菱石油株式会社にも供給を開始した。また昭和56年12月に高梁川対岸の川鉄鋼板株式会社玉島工場へ河底部1.3 km、総延長4.5 kmのコークス炉ガスと窒素のパイプラインを完成させ、供給を開始した。これに合せ、パイプラインルート上の中国電力株式会社玉島発電所にも少量の窒素供給を開始した。

3.3 酸素、窒素の液化専用プラント

酸素工場では空気分離装置の停止等異常時の供給確保のため、液体酸素、液体窒素を一部保有する貯蔵タンクを保有している。また、空気分離装置の中に空気中に微量に含まれるアセチレン等が凝縮することを防止するため、保安上一部の液体酸素を常時抜き取っている。このため昭和54年9月より、パイプラインで供給できない地区に対し、ローリで低温の液体製品として少量供給開始した。液体酸素、液体窒素は液化エネルギーとしてガス製品に比較して倍以上の電力を使用するため、特に電力原単位が低いこと、および安価な電力を使用することがポイントとなる。このため昭和58年1月に酸素、窒素の液化専用プラントを設置して、液体酸素、液体窒素の中四国地区の代表的な供給基地となり、本格的に外販を開始し

た（Photo 2）。液化専用プラントは高効率の循環圧縮機（軸動力5200 kW）で36 kgf/cm²まで昇圧した循環ガスを膨脹タービンを駆動軸とする圧縮機でさらに50 kgf/cm²まで昇圧して、膨脹タービンで断熱膨脹して寒冷を得て製品ガスを冷却するもので、Fig. 2にプラントのフローを示す。

このプラントは、液体窒素を標準状態換算で最大3000 m³/h、液体酸素を2500～10000 m³/hの間で発生変更が可能で、転炉吹錬のバッチ操業による酸素の需給変動を吸収すると同時に、電力のデマンド調整を行えるよう、製鉄所のエネルギーバランスを考慮した設備となっている。

3.4 アルゴンの供給

製鉄所の高級製品比率の向上により、所内のアルゴン需要量が増大した。このため昭和56年12月に、No. 8 酸素プラントに500 m³/h、昭和59年1月にはNo. 7 酸素プラントに630 m³/hのアルゴン製造設備を新設した。

アルゴンはステンレスのAOD製鋼用や半導体工業でのシリコン単結晶製造工程での雰囲気ガス用等で近年需要量が増大しており、製鉄所の余剰アルゴンを積極的に外販している。

3.5 東京製鉄株式会社岡山工場向酸素供給

水島港の対岸にある東京製鉄株式会社まで、水島港の海底2重配管を含めて高圧酸素パイプラインを昭和59年10月に完成させた。このパイプラインは、高圧ガス取締法やコンビナート災害防止法の適用を受け、製鉄所内の配管も合せると全長6.8 kmで、構外は当社のエンジニアリング事業部が施工した。パイプラインを通じて東京製鉄株式会社に必要な全量の酸素を順調に供給している。またこのパイプラインは、配管容積が大きく、酸素需給調整にも役立っている。Fig. 3にフローを示す。

空気分離装置での製品ガスは近年のPSA（Pressure swing adsorption）等による製品ガスに対しても電力原単位が有利で、今後とも大型空気分離装置を持つ製鉄所は、コンビナート等に対して供給基

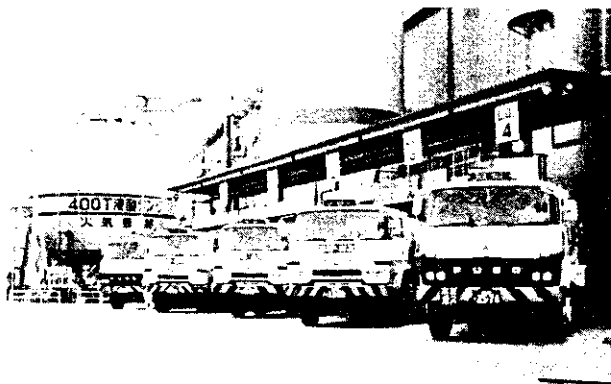


Photo 2 A view of lorry shipping

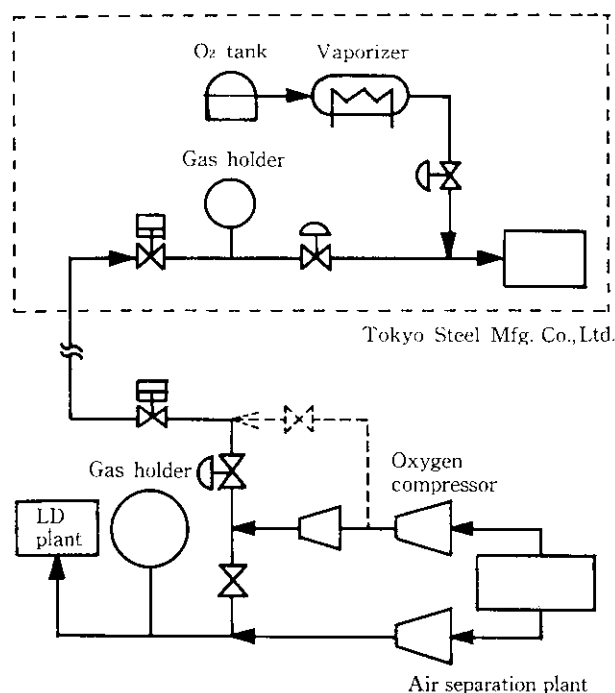


Fig. 3 Flow diagram of oxygen supply to Tokyo Steel Mfg. Co., Ltd.

地であることは変わらない。現在、水島製鉄所の酸素、窒素は全使用ガス量の 14~17% をそれぞれ外販しており、アルゴンについては 50% 以上の外販となり、新たな事業となっている。

4 副生ガスのコンビナート等への利用

4.1 副生ガスの運用と三菱瓦斯化学株式会社向 M ガス供給

水島製鉄所は昭和 55 年 10 月より、高炉でのオールコークス操業を実施し、重油使用量が零となった。これにより副生ガスのみを燃料とするオイルレス製鉄所となった。副生ガスは貯蔵量が小さく、発生と使用の量バランスがとりにくい欠点があり、他製鉄所では LPG 等の燃料をバックアップに使用している。副生ガスの需給のアンバランスは C ガス、B ガス、LD ガスの置換操作で一部吸収するが、全体の副生ガス量のアンバランスは他のエネルギーとの置換による。このため水島製鉄所では水島共同火力株式会社を利用した重油、電力の置換が基本バッファーとなる。

一方バッファー能力が以下の状況で小さくなっている。

- (1) 水島共同火力株式会社の重油削減対策に C ガス安定供給が必要で、水島共同火力株式会社のバッファー機能が制約を受ける。
- (2) CDQ、焼結排熱回収等による蒸気回収利用により、従来の蒸気使用変動だけでなく、蒸気発生変動をも吸収できるバッファー能力の増大が必要となる。
- (3) 同じく、副生ガス焚ボイラ負荷が減少し、ボイラの副生ガスバッファー能力を減少させている。

エネルギー自給率が高くなると必然的に外部にエネルギー供給先を求める結果となり、しかもますます副生ガスのバッファー能力を増加する対策が必要となるため、副生ガスの運用は外部にバランス機能を持たせることが望ましい。副生ガスのバッファー機能の増大

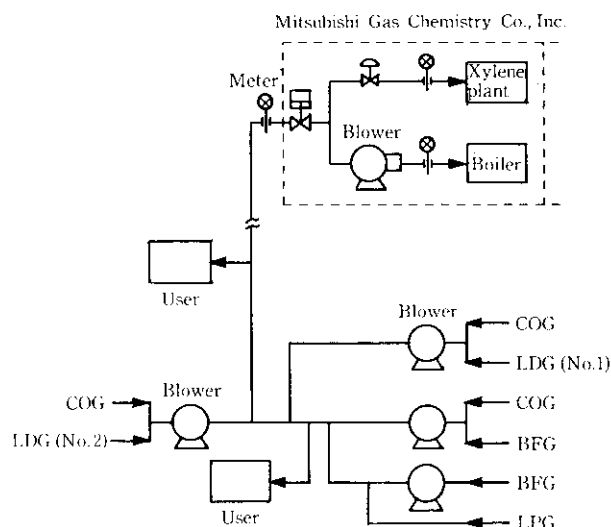


Fig. 4 Flow diagram of mixed gas supply to Mitsubishi Gas Chemistry Co., Inc.

と石油化学での重油削減のニーズが合い、三菱瓦斯化学株式会社への M ガス (Mixed gas) 供給を昭和 56 年 4 月より開始した。供給能力 30 000 m³/h で平均的には約 20 000 m³/h のガス供給を継続している。三菱瓦斯化学株式会社は M ガスを主として、自家ボイラに使用し、川崎製鉄の依頼に従って重油と混焼比率を変えている。これは石油化学の製鉄所副生ガスの利用例として最初であり、コンビナート内の石油化学と製鉄所が結びつく発端となった。Fig. 4 にガスフローを示す。

4.2 副生ガスの都市ガス利用

都市ガスは古くは石炭を原料とするガスがほとんどであったが、昭和 36 年以降都市ガス製造用ナフサの原料費が免税になったこと等から、石油系が石炭系より安価になった。しかも建設費も安く、設備の起動、停止が極めて容易で、負荷変動に対処しやすい利点に

Table 1 Properties of COG and Town gas

Item		COG	Town gas
Composition (vol%)	H ₂	56.3	34.2
	O ₂	0.2	5.0
	N ₂	2.5	26.7
	CH ₄	28.4	17.0
	CO	6.7	7.0
	CO ₂	2.4	4.2
	C ₂ H ₄	2.8	1.2
	C ₂ H ₆	0.7	1.2
	C ₃ H ₆	—	0.2
	C ₄ H ₁₀	—	4.1
Total		100	100
Gross calorific (kcal/Nm ³)		5 169	4 500
Density (kg/Nm ³)		0.464	0.866
Impurity (g/Nm ³)		Total sulfur ≤ 0.5 H ₂ S ≤ 0.02 NH ₃ ≤ 0.2	

より、多くの都市ガスは石油系に切替えられた。その後、石油危機から安定供給と価格安定のため脱石油対策が推進され、特に大手都市ガス会社では都市ガスのカロリーアップによる供給面の合理化をはかる目的もあり、長期契約による LNG の導入をはかった。こうした環境変化で、水島地区の都市ガス会社も新たな転換が必要となった。地方都市ガス会社は需要量が小さく LNG の導入は単独では難しく、電力会社等と組まないと採算にのらない。このため製鉄所の副生ガスに着目して、地域の特性を生かしたエネルギー対策が生まれた。都市ガスへのガス供給はガス事業法の適用を受け、卸供給事業者として供給条件は認可制となる。都市ガスは燃焼速度指数 (Combustion Potential) とウォッベ指数 (Wobbe Index) によって 14 種があり、ガス会社と供給地区により異なることが多い。水島瓦斯株式会社、岡山瓦斯株式会社の品質を Table 1 に示す。

4.2.1 水島瓦斯株式会社へのガス供給

水島瓦斯株式会社は水島周辺地域の家庭用 (2 万戸) と業務用および工業用に都市ガスを供給している。昭和 57 年 12 月から C ガスを都市ガス原料として供給している。水島瓦斯株式会社はコンビナートの立地企業の三菱石油株式会社と日本鉱業株式会社より石油精製副生ガスを受入れていた。製油所の副生ガスは定期修理等による一時的な供給停止や品質の変動を受けやすい。このため供給源の多様化と供給ガスの価格安定化のため、石炭ガスとしての C ガスの導入をはかった。水島瓦斯株式会社への C ガスの供給は川鉄鋼板株式会社玉島工場向 C ガス供給設備系統より供給しており、構外を含めて全長 4 km のパイプラインで結びついている。水島瓦斯

株式会社は石油系原料 (約 10 000 kcal/m³) と C ガス (約 5 100 kcal/m³) をもとに、空気と原料品質によって一部 LPG を加えて熱量調整をして、都市ガス (5 000 kcal/m³) を製造している。Fig. 5 にガスフローを示す。

4.2.2 岡山瓦斯株式会社への瓦斯供給

岡山瓦斯株式会社は主として岡山市、倉敷市を供給区域として家庭用 (約 9 万戸)、業務用等にガスを供給している。都市ガスは LPG やナフサを原料として改質および増熱により製造されているが、石油エネルギーの環境変化を直接受け、原料変更による操業変更を余儀なくされていた。岡山瓦斯株式会社への副生ガスの供給は種々の検討の結果次のような基本事項により出発している。

- (1) 川崎製鉄が製品ガスまで製造して、岡山瓦斯株式会社に供給する。
- (2) 川崎製鉄のガス供給の異常時対応として、岡山瓦斯株式会社は従来の製造設備によるバックアップ体制をとる。
- (3) 最大供給量は将来の需要増大等から 17 000 m³/h とする。
- (4) 製鉄所内設備は川崎製鉄が負担し運転する。構外設備は岡山瓦斯株式会社が担当し、導管は川鉄エンジニアリング事業部が施工する。

都市ガスの製造では副生ガスを最大限利用することで C ガス、B ガス、LPG、空気の 4 種混合ガスとし、供給設備フローを Fig. 6 に示す、本設備の特長は以下の通りである。

- (1) 都市ガスの品質向上のため石炭ガス中の硫化水素および微量成分を取る設備として、複数の乾式脱硫装置を組合せた精製設

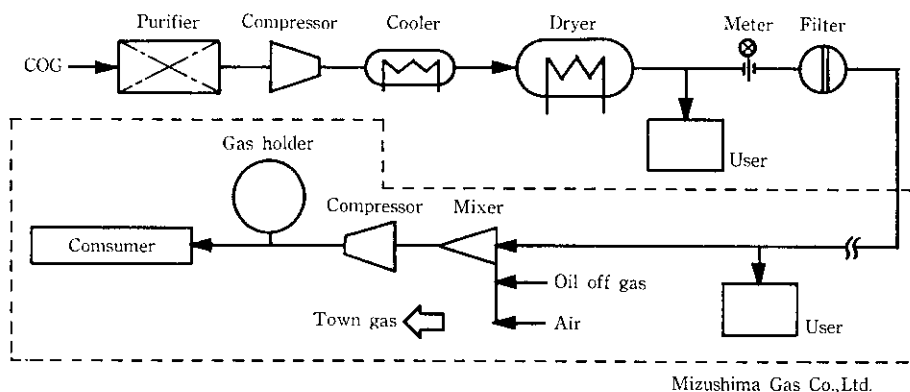


Fig. 5 Flow diagram of COG supply to Mizushima Gas Co., Ltd.

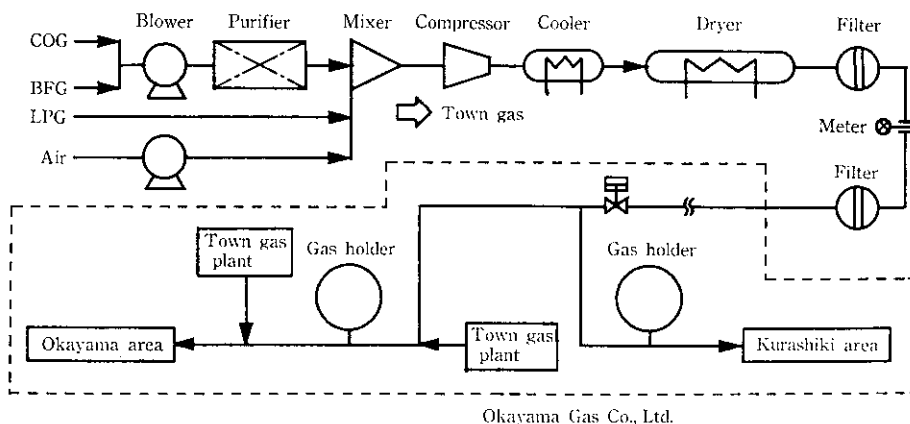


Fig. 6 Flow diagram of town gas supply to Okayama Gas Co., Ltd.

備とした。

- (2) Cガス、Bガス、LPG、空気の混合で、酸素と一酸化炭素量に対するコントロール機能を持っている。
- (3) ガス品質の安定化のためガス会社では製品ガスホルダーを持つが、制御システムと圧縮機の運転システムからホルダーレスでも可能な熱量調整システムを確立している。
- (4) 供給ガス量はパターン化され、日々の需要に対して全て自動的に変更される。
- (5) 運転は製鉄所のエネルギーセンターで行い、主要情報をテレメーター化している。

パイプラインは水島製鉄所から岡山瓦斯株式会社倉敷営業所まで全長 16 km におよび、圧力 9 kgf/cm² で供給される。昭和 59 年 12 月よりガス供給を開始し、その後順調に運転されている。この結果、岡山瓦斯株式会社の約 80% を水島製鉄所から供給し、副生ガスの占める割合は 50% 以上となった。

5 今後の製鉄エネルギーの利用

昭和 60 年 6 月には、三菱瓦斯化学株式会社での無水トリメリット酸用原料として、LD ガスより製造する一酸化炭素ガスを供給する。さらに水素ガスの供給も計画中である。副生ガスを単に燃料として供給することから出発して、現在は化学原料として利用する計画が生まれつつある。水島コンビナートは各種の化学工業が立地されており、コンビナートのパイプラインを有効利用することによ

り、ますますその可能性が大きくなっている。既にアンモニア、オキシガス等は「産業間共同エネルギー対策検討委員会」¹⁾でもその可能性の検討がされたが、その他についても今後具体化される可能性がある。コンビナートは多量の蒸気も必要であり、空気分離製品ガスも含めて、コンビナートへの供給は増大する見込である。これらは水島コンビナートへ限らない活力を継続的に与えるものとなるう。

6 結 言

石油化学の再活性化対策の一環として、原料の多様化と供給安定を促進するため、製鉄エネルギーが見直されている。水島製鉄所はコンビナートのエネルギー共同利用の先駆的な推進をはかっており、コンビナート地域のエネルギーおよび原料の供給基地となりつつある。製鉄所のエネルギーセンターは地域企業へのエネルギー供給を開始して、単なる製鉄所のエネルギーセンターからコンビナートのエネルギーセンターとしての機能をも持つように変化している。製鉄所のエネルギー供給は新たな事業として今後とも発展する動向にある。

終りに、水島製鉄所のエネルギー供給に対して、常に温かい御支援と御協力をいただいた通産省、建設省等をはじめ、岡山県、倉敷市等関係官庁の深い理解をいただいたこと、ガス会社とコンビナート企業の御協力をいただいた多数の方々と参画された各位に深く感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 広島通商産業局水島地区産業間共同エネルギー対策検討委員会：「昭和 57・58 年度水島地区産業間共同エネルギー対策推進調査報告書」(1984 年)