

■ 技術報告 ■

我が国南極基地の設営と省エネルギー

Logistics for Japanese Antarctic Station and Energy-saving

栗野 誠一*・竹内 貞男**

Seiti Awano Sadao Takeuchi

1. 南極基地の発展

1.1 昭和基地

今から28年前の1956年に、わが国は初めて南極地域観測 (Japanese Antarctic Research Expedition, JARE)に参加した。その1年程前から準備が始まり、機械関係は日本学術会議から日本機械学会に依頼され、学会内に南極地域観測機械関係準備会 (委員長 川田正秋氏以下7名) が設けられ、筆者* もそのメンバーの1人としてこれに参加した。そして越冬の為の設営、すなわち発電装置、雪上車、そり、造水装置、暖房機、冷蔵庫等の準備をすることになった。しかし当時は、わが国の目標とするプリンスハラルド地域の様子は皆目不明で、どのように準備を進めてよいか悩まされたが、第1次越冬隊長をされた西堀栄三郎氏を中心として、考えられるだけの準備をした^{1) 2)}。

そして今から考えると誠に幸運にも1957年1月29日には、オングル島に昭和基地を開設することに成功した。

第1次居住棟 (40.3m²) 他2棟の建物が建てられたが、これは日本建築学会によって設計準備されたわが

国最初のプレハブであった。ただ第1次発電棟 (54m²) は、予算が足りなくなって了った為か、パイプ骨組に赤いキャンバス張りの誠にお粗末なものであった。

已を得ないので、その内部に20kVAのディーゼル発電機 (AC 100V, 3相, 50Hz) 2台と、水ポンプ、風呂、温水タンク、造水タンク等を1列に並べた (図-1)。これをエネルギー源として11名の初めての越冬が行われ、設営上にも多くの知見がもたらされた。

第3～5次は14～16名の越冬が行われたが、砕氷船「宗谷」の非力と老朽化のため基地の一時閉鎖を余儀なくされた。然し幸いにも1963年度に再開準備のための予算が計上され、排水量5,250tの砕氷船「ふじ」が建設され、1965年昭和基地は第7次隊によって再開された。そして45kVAディーゼル発電機2台 (AC 200V, 3相, 50Hz) 並に造水、温水装置、風呂等を含む第7次発電棟が完成し、越冬人員も18名に増加した (図-2)。

第9次 (1967/69) では、65kVA発電装置2基を含む第9発電棟が建設され、以後第20次まで29～30名越冬の時代が続いた (図-3)。

第19次 (1977/79) では、この65kVAでも不足にな

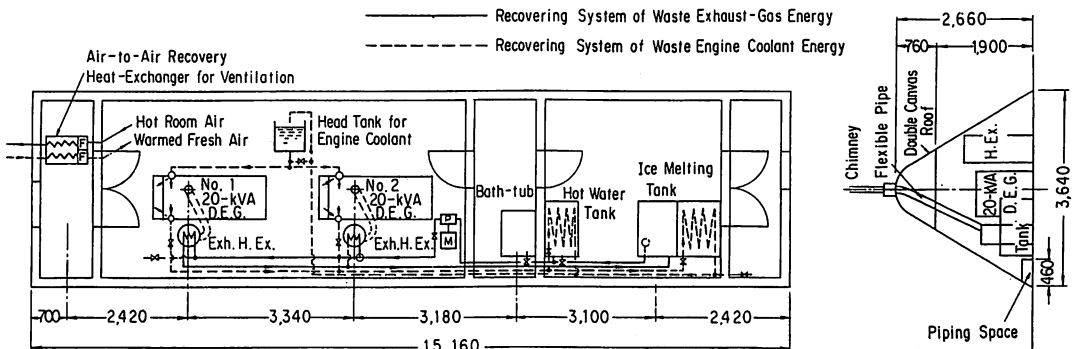


図-1 第1発電棟内の20kVAディーゼル発電装置と廃熱回収による造水、温水装置, 1956/62 (JARE-1/6)

* 日本大学名誉教授、国立極地研究所運営協議員、設営専門部会委員

〒152 東京都目黒区平町1-14-17 (自宅)

** 国立極地研究所

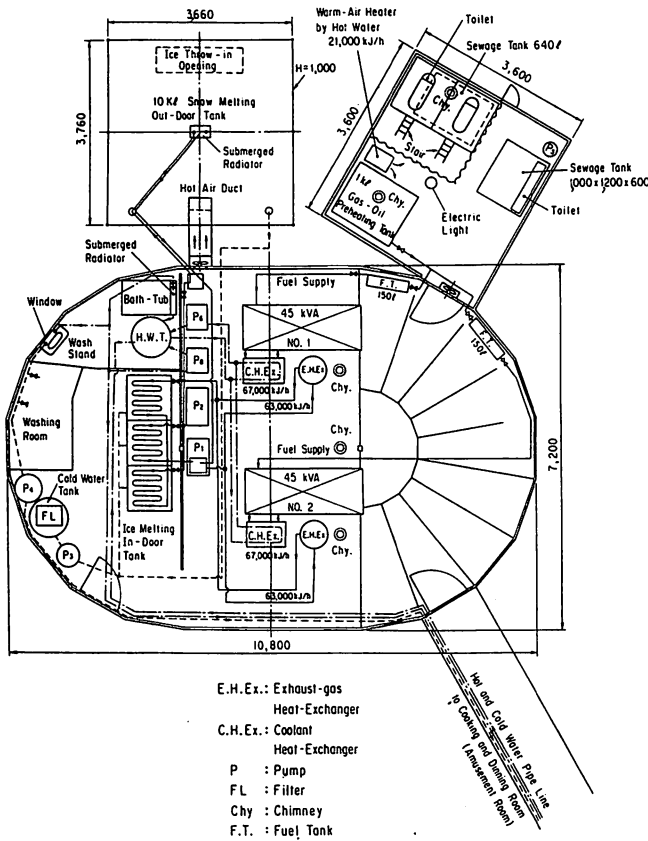


図-2 第7発電棟内45kVAディーゼル発電装置とその廃熱回収による造水、温水装置, 1967 (JARE-8)

ったので110kVA 2台に置換え (図-4), 更に22次ではそのうちの1台を125kVAに改めて電力需要の増加に対応した。第21次以降は越冬人員も34~35名に増員された。

第23, 24次隊 (1981/84) によって, 2階建の新発電棟 (延床面積 425.5m²) が建設され³⁾, 1984年, 第25次隊によってその内部に200kVA発電設備が完成された。これより先, 1983 (第25次) より砕氷船「ふじ」に代って排水量 12,000 t, 24,000 馬力の新砕氷船「しらせ」が就航した。

1.2 みずほ基地

1970年7月21日, 第11次隊によって昭和基地より更に南方270 km, 標高2,230mの雪氷高原上に「みずほ」基地が開設された。途中第15次でエンジン室の火災を起した為一時中断されたが, 第17次より再開され, 毎年2~3名の越冬が継続されている。建物は年と共に雪に埋れ, 現在では完全に雪面化の基地と化している。必要物資はすべて昭和基地よりの「そり」輸送によらなければならない。

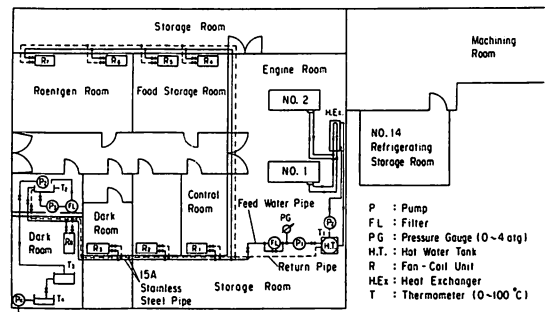


図-3 第9発電棟内65kVAディーゼル発電装置とその冷却水廃熱利用による温水温風暖房, 1968 (JARE-9)

2. ディーゼル・エンジンの廃熱利用

2.1 トータルエネルギー・システム

以上に述べたように昭和基地のエネルギー源である発電装置は20kVA 2台に始まり, 45kVA, 65kVA, 110 kVA各2台, 110kVA 1台と125kVA 1台と増加を続け, 現在の新発電棟では200kVA 3台を具えるに至った。

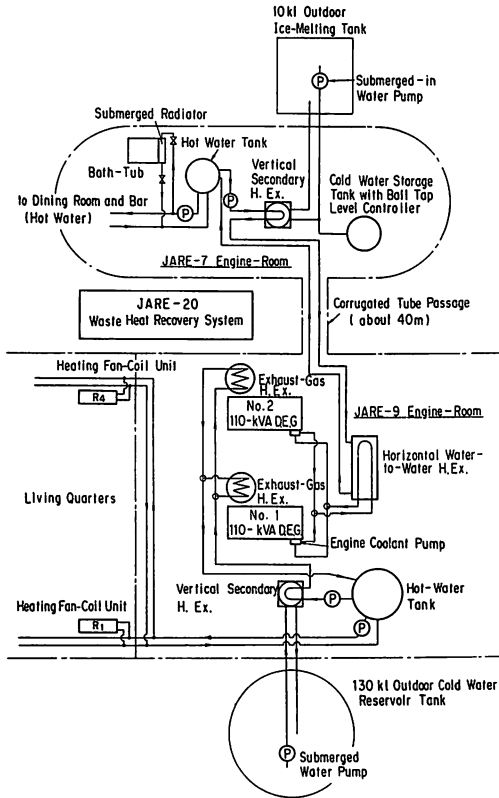


図-4 1978/84 (JARE-20/24) における廃熱回収システム

これに対する第9次より第20次までの燃料の輸送量は毎年240~300tに達し、「ふじ」の全輸送量500tの約50~60%を占めて来た。「しらせ」の就航により輸送量が1000tに倍増した第25次(1983/85)では370t(430kl)の燃料のバルジ輸送を行った。

年間の燃料消費量は現在昭和、みずほ両基地用を含めて軽油330kl、航空機用ガソリン30kl、暖房用灯油60kl、合計年間約420klであり、越冬人員1人当り年間約12klである。

昭和基地の現在の平均消費電力は約96kW(1人当り2.7kW)で、発電用だけで年間約300kl(1人当り8.6kl)の軽油が消費される。

第1次(1956/58)の発電設備の準備に当り、当時は現在と違いトータル・エネルギー・システムは未だ一般には省みられていなかったが、南極という限られた天地におけるエネルギー資源の節約を計るため、ディーゼル・エンジンの冷却水及び排気エネルギーを冬期における融雪造水、年間を通じての温水、風呂等に利用することを計画し、内地においてその配管や熱交換器、その他一切の準備を整えて船積みした。

幸い昭和基地の開設と共に、このシステムは現地において組立てられ、11名の越冬を支えるのに役立った(図-1)。

第7次(1965/67)でも第7発電棟内に新しい冷却水及び排気熱の回収設備を用意し、第8次ではそれまで戸内で雪又は水を融解造水していたのを、戸外に設けた10kl簡易貯水槽に置き換えることに成功した。冷温水を風呂の他に、食堂棟等へ送るため延160mの冷温水道が敷設され、温水による温風暖房も実施された(図-2)。

第9次(1967/69)では、第9発電棟の新設と同時に、その65kVA発電装置のエンジン冷却水及び排気熱の回収装置を新設し、第9発電棟内のエンジン制御室、レントゲン室、暗室、倉庫等計6室120m²の温水温風暖房を8台のファン・コイルユニットを用いて実施した(図-3)。第20次(1978/80)では第9発電棟内と第7発電棟内の設備を組合わせて、造水、温水及び暖房システムを完成し1984まで実用した(図-4)。

このように、第1次より第25次に至る28年間に亘りエンジン廃熱の回収が実施され、軽油換算で年間約50klを節約して来たものと推定される。

一方みずほ基地では12kVA、16kVA各1台のディーゼル発電装置を具え、現在は16kVA1台を常時運転してそのエネルギー源としている。

みずほ基地を開設した第11次より第15次(1969/75)までは、エンジンの冷却水を造水、温水、風呂だけに使用していたが、第17次に再開後は、雪面下の居住室と観測室の暖房もすべて冷却水熱の利用による温水温風暖房に切換えられた。これは火災の危険とCOの発生を防止するためである。みずほ基地の軽油年間所要量は22kl、平均消費電力は4.1kWであり、冷却水廃熱の利用により年間約3klの軽油が節約できるものと推定される。

2.2 冷却水エネルギー利用上の注意

- 1) 燃料保有熱量の29~30%に相当。
- 2) 年間平均電力96kW(35.0×10⁴kJ/h)に対し35.4×10⁴kJ/hで、ほぼ出力と同量のパワーを保有するものと考えてよい。
- 3) シェル・アンド・チューブ型熱交換器で容易に取出し得る。
- 4) 長期放置して凍結のおそれのある場合は、エンジン冷却水としてエチレングリコール50%水溶液を使用する。
- 5) エンジン・ラジエータと負荷系を並列とし、温度

制御の自動切換弁を設け、負荷が小さく冷却水出口温度が85°Cを超える場合は、冷却水をラジエータに通して放熱させ、エンジンの過熱を避ける。

- 6) エンジンが過冷却し、燃焼不良にならぬよう注意を要する。
- 7) 負荷系が万一破損した場合にも、エンジン冷却水の最小限の循環量が保たれるよう、途中にタンクを設ける。

2.3 排気エネルギー回収上の注意

- 1) 燃料の保有熱量の30~35%に相当。
- 2) 平均電力96kW (35.0×10^4 kJ/h) に対し、 41.2×10^4 kJ/h。
- 3) 排気熱交換器はかなり難かしい。その理由は
 - a) 燃料中に含まれる硫黄分と排気中のH₂Oの結合による硫酸腐食。
 - b) 排気吹込口部にシエルの熱応力によるき裂の発生。
 - c) 伝熱面へのカーボン付着による伝熱量の低下。2週間で伝熱量が70~42%程度に低下することがあるので、「すす」が付かぬよう、又はその掃除に対する考慮を十分に払うことが望ましい。
- 4) 硫酸腐食の防止法
 - a) 排気熱交換器の出口温度を少くも100°~150°C以上に保ちH₂Oの凝縮を防止し、硫酸濃度の低下を計る。
 - b) 排気熱交換器には直接冷水を通さないで、予め冷却水廃熱によって温めた低温水を通し、高温水を得るような使用法がよい(図-4)。
 - c) 伝熱面の温度をなるべく高く保つようにする。たとえば間接冷却フィンを伝熱面とすることは極めて有効である。
 - d) 構造材料の選択。

3. 造水装置

3.1 夏期の給水

第11次より第24次までの昭和基地では夏期(12月~5月)は第1ダムの雪どけ水を、荒金ダムを経て、屋外の100kl(第11~22次では130kl)タンクに送り更に、第7発電棟屋外に設けた10klタンクに送った。この給水には消防用のポンプとホースを用い短時間に送水を完了することによりホースの凍結を防ぐ。送水後はパイプやホース内に残った水はすべて抜けるようにして置かねばならない。この水を第7発電棟内のポン

プで、発電棟内のウエット・エリア、食堂、娯楽棟、環境棟等への水道給水を行って来た。屋外の10klタンクは排気熱交換器を用いて+18°~+32°Cに保たれた。

3.2 冬期の給水

冬季(4月~11月)は、第1ダムの水中に2~5kWの電気ヒーターを投入して凍結を防ぎながら池底の水を汲み上げる方式を第17次で行ったが、池水の凍結に伴い池底に残る水の塩分が次第に増加し、遂には飲用に適しなくなる。又塩分のため水道配管等金属部分の腐食が促進される。それ以後は氷雪をあつめて、10klタンクに投入、排熱又は冷却水熱で融解造水する方法に頼らねばならなかった。

3.3 水道

水道管としては7次で極めて軽い断熱管を試作し、これを継ぎあわせて冷温水水道を作ること成功した。

4Bのポリエチレン管内に長さ4m、外径32mmのアルミ管を4本又は3本埋め込んで間に断熱材ポリウレタンを圧入して断熱した。下方の2本を温水用の送りと戻り管とし上方の2本を冷水用の送りと戻り管とする。3本の場合は下方の2本は温水用送りと戻り、上方の1本は冷水用送水管である。

このように水を絶えずポンプで循環させることと、温冷水を一まとめにして温水からの熱損失で冷水管を温めることで凍結を防止することができた。後には池水の塩分による腐食を防止するため導水管にはステンレス管を使用するようになった。

3.4 水の使用実績

昭和基地における1人1日当り水の使用量は、第1~第5次14.5~21 l、第7~20次40~50 l、第17次(年間第1ダム使用)77 l、1984年(第25次夏期新発電棟)99.2 l、みずほ基地5 lであった。

4. 新発電棟内の諸設備とトータル・エネルギー・システム

1984年(第25次)は200kVA発電機の据付を完了し、その制御装置と廃熱回収システムのすべてを完成した。1984年3月10日には、これ迄の第9、第7発電棟を中心とする図-4に示す発電造水システムから図-5に示す新発電棟の造水システムに切り換えを終り、現在順調に稼動中である。1階には、6kl冷水タンク、4.5kl高温水タンク、4.5kl低温水タンク、脱塩装置、冷蔵庫、食料庫等が設けられ、2階には制御室、暗室、洗面所、洗濯室、理髪室、浴室、便所等が設けてある。

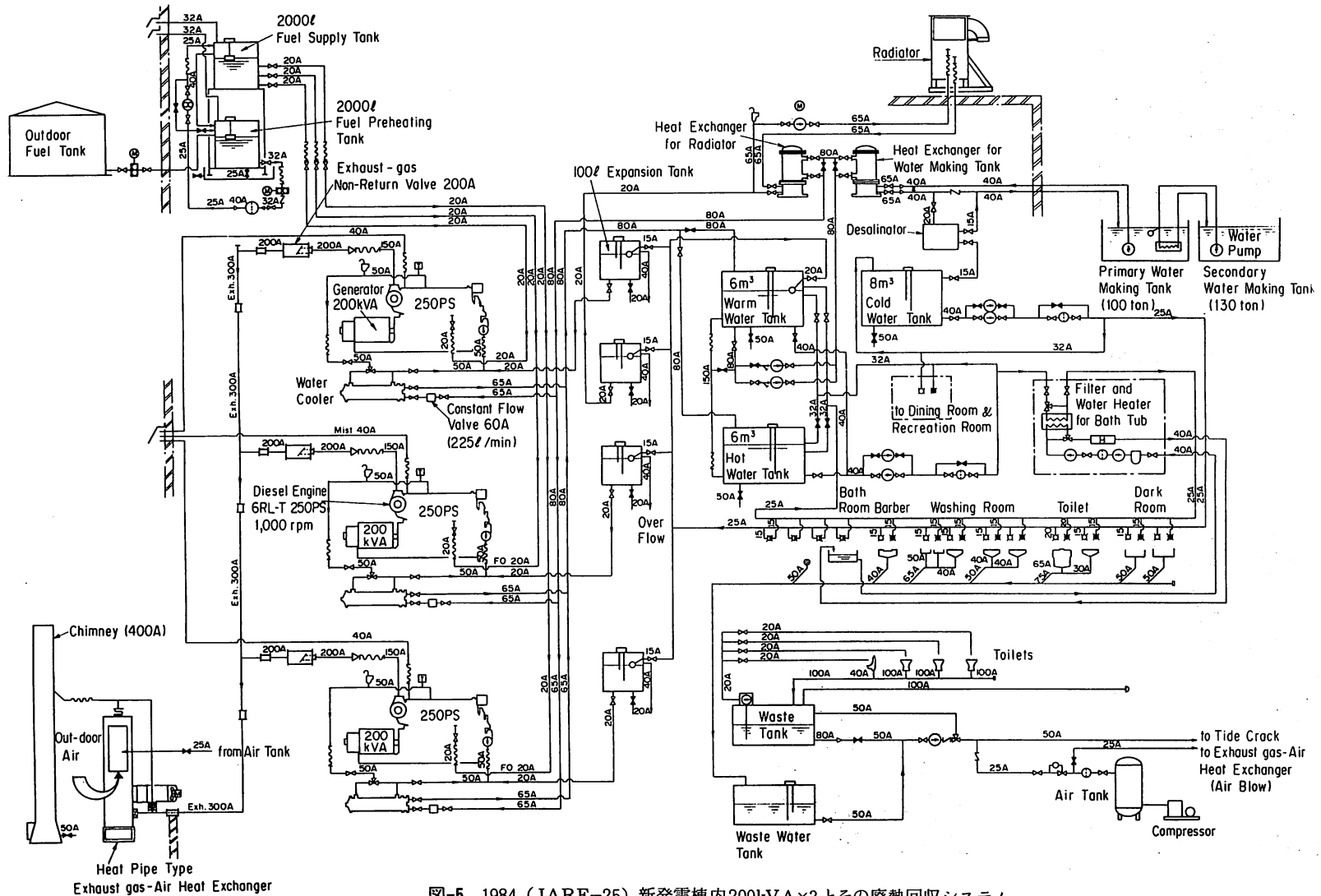


図-5 1984 (JARE-25) 新発電棟内200kVA×3とその廃熱回収システム

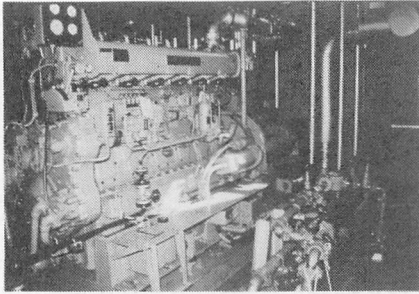


図-6 新発電棟内の200kVAディーゼル発電機及び冷却水廃熱回収用熱交換器¹⁰⁾

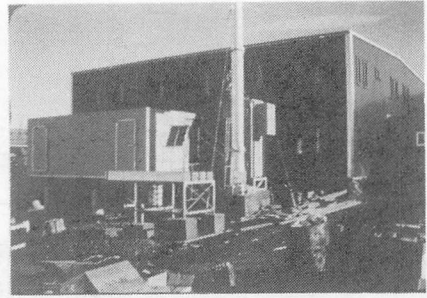


図-8 新発電棟付属冷凍庫及びヒート・パイプ式排熱回収装置¹⁰⁾

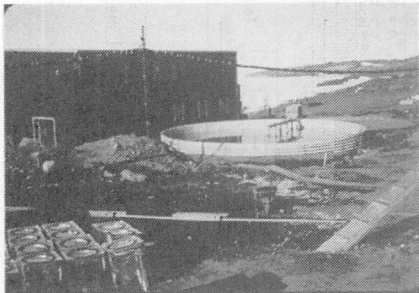


図-7 新発電棟屋外に設けた100kL貯水槽¹⁰⁾

4.1 冷却水廃熱の利用

200kVA用エンジン1台分で利用できる冷却水熱量は約 $35.4 \times 10^4 \sim 59.4 \times 10^4$ kJ/h程度であり、これはエンジン1台毎に設けた横型のシェル・アンド・チューブ型熱交換器でその70%を容易に捕捉できる。これで高温水タンクと低温水タンクの水を暖め、高温水は各ウェット・エリアに冷水タンクよりの冷水と共に送られ、一方その一部は約100m離れた食堂調理室及び娯楽室に送られて給湯及び温水暖房を行っている。一方低温水は別に設けた縦型の2台の熱交換器のうちの一つを通して、100kL及び130kL屋外タンクの保温及び冬期の融雪造水を行う。もう一つの熱交換器は熱負荷不足の場合に、この熱交換器を介し放熱器を通して戸外に放熱して、エンジンのオーバーヒートを防止する。

4.2 排気熱量の回収

エンジンの排気は各エンジン毎に設けられた逆止弁を通して1本の排気管にまとめられ、屋外に設けたヒート・パイプを利用したガス・空気熱交換器を介して、新発電棟内に入られる新気($4\text{m}^3/\text{min}$)を -14.1°C より $+46^\circ\text{C}$ まで高め、室温をエンジン本体よりの放熱と相俟って $+25^\circ\text{C}$ 程度に高めることができる。実測によれば、発電電力96kW(35.0×10^4 kJ/h)に対し、排気熱量は燃料供給熱量(117×10^4 kJ/h)の35.2%(41.2×10^4 kJ/h)程度であるが、現在では 1.6×10^4

kJ/h、排気保有熱量の3.9%程度しか捕捉されていないので、今後更にその改良を必要とする。

5. 自然エネルギーの利用

5.1 風力エネルギー

昭和基地の年間平均風速は6.1m/s、みずほ基地では11m/sにも達し、その利用が要望される。

1) 無人基地用電源 現在既に奥地何箇所かに設けている無人基地用電源として実用化されている⁴⁾。1~2kW程度でよいが、50~60m/sのブリガードに耐えねばならない。電池の過充電によって発生する H_2 ガスの爆発事故が2回発生している。過充電の防止と電池室の十分な換気が必要である。

2) 基地用補助エネルギー 5~20kW程度の中容量のものが望ましい。直径が大きくなると耐風性が問題となり、回転数制御やブリザード対策が重要となる。輸送や建設にも問題はあがるが不可能ではない。第1次ではD.C.1kW、直径4.3m、3枚羽根のポリエステル製風車が用意されたが、南極の水と共に流出していった¹⁾。著者等も極地用として直径1.2m、電気的ブレーキによる回転数制御のできる多翼型風車を設計試作し、1973年(第14次)及び1978年(19次)に昭和基地で実験を行い20~40m/sの風速で2~4kWの電気出力を得た。基地では電力よりもむしろ熱として池の水の冬季の凍結防止や融雪造水、或は暖房等に利用する方が有利であろう。1977年(第18次)にはみずほ基地で1.2kWの風力発電による発生電力を室内暖房に利用した例もある⁷⁾。風力により電力を仲介としないで、直接温水を作ること可能である⁸⁾。

5.2 太陽エネルギー

南極に於ける太陽エネルギーはあまり豊富ではないが、夏期にはその利用の可能性は充分あり、太陽電池の無人基地電源等への実用化が望まれる⁹⁾。

6. 謝 辞

以上に述べた諸設備のうち、第24次までのディーゼル発電機はいすゞ自動車㈱と㈱明電社、造水装置、排気熱交換器は日大理工学部試作工場、暖房機は㈱御法川製作所及び㈱大西熱学工業所、第25次の新発電棟内の諸設備はヤンマージェル㈱及び㈱日立製作所によるものであり、又、国立極地研究所観測協力室及び各次機械電気関係隊員並に各次輸送船乗組隊員の方々の御協力に対し、併せて深甚の感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) Special Committee on Engineering for th JARE of JSME and Technical Members of the First, Second, and Third JARE : Report of the Mechanical Committee for the JARE. Nankyoku Shiryo. No. 8. 1959. pp.490-570.
- 2) AWANO S. TAKEUCHI S. and MUTO M.; Energy saving at Syowa and Mizuho Stations. Memoirs of Na-

tional Inst. of Polar research. Series F Logistics. No. 4. 1982pp. 1-110.

- 3) National Institute of Polar Research ; Syowa Kichi Yooran, Edition 1983.
- 4) AYUKAWA M. and others ; Nihon Nankyoku Chiiki Kansokutai dai-18ji-tai Hookoku. 1978. pp. 95-96.
- 5) AWANO S. Wind Electric Generator NU-101 driven by Axial-flow Air-turbine with Stator. Memoirs of National Institute of Polar Research. Series F Logistics. No 2. 1976. pp. 1-47.
- 6) AWANO S. and TAKEUCHI S.; Axial Flow Wind Air-turbine NU- 102 with Electric Eddy-current Brake. Memoirs of National Institute of Polar Research. Series F Logistics. No. 3 1979. pp. 1-57.
- 7) AWANO S. Furyoku Oneki Hatsusei Sochi (Hot Water Making Equipment by a windmill). Patent Public Report 1981-12713. Patent No.1070100.
- 8) NISHIBORI E. and others ; Application of Solar Energy for Power Supply of Communication Facility at Antarctic Expedition. XIII SCAR Meeting, Working Group on Logistics. 1974. pp. 1-6.
- 9) 第25次夏隊隊員石沢賢二氏撮影 (1984)

