

列車冷房装置について

Air Conditioning Unit for Train

田 村 寛* 出 水 芳 郎*
Hiroshi Tamura Yoshiro Demizu

内 容 梗 概

乗客へのサービス向上のため客電車空気調和装置として夏季の冷房が輸出車輛はもちろん国内でも優等車以外の車輛に普及する傾向にある。車輛のもつ電源、振動などの特殊事情からその問題点を明らかにし列車用として設計試作された密閉型圧縮機を使用せるユニットの試験結果について検討した。また動力問題の得失、機械圧縮式以外の方法についても簡単にふれた。

1. 緒 言

客電車空気調和装置として冷房は必須の条件となりつつあり、冷凍技術の進歩とともに信頼度の高い、取扱容易、低廉な方式についていろいろ検討されている。長距離用編成列車全体を冷房する目的で動力は電源車のディーゼルエンジン発電機から得られる想定のもとにユニット式冷房装置を試作した。客車の一輛当りの冷房容量から圧縮機に必要な所要動力は10~15HPと考えられる。交流三相、200Vの電源を使用する密閉型圧縮機の電動機はかなりの過負荷運転が可能であるので10HP電動機を使用した。この装置の概要を紹介し従来の方式および将来発展を予想される方式について検討する。

2. 車輛冷房装置の問題点

客室内の冷房条件の標準として室温 24~26°C、湿度 55%、空気流 0.1~0.25 m/s、換気量 1人当り 17 m³/hといわれている。温度、湿度を調整し臭気、塵埃を除くのみでなく室内の温度分布、気流の分布についても快適性と密接な関係をもつ。冷房負荷は壁（天井、床、側板、窓）から侵入する熱量、乗客発散熱量、換気によるものから決定される。日本はもちろん、東南アジア、イタリアのように夏期高温多湿の所では換気による脱湿のための冷房負荷が大であるから冷房条件の苛酷な国といえるであろう。走行区間が長距離になると時刻、天候、区間などで刻々冷房負荷は変化する。壁を通して外部から侵入する熱量のうち太陽輻射によるものは大であるから車体の断熱材料は十分吟味せねばならない。最近の車輛用材料の進歩は著しく熱絶縁性の良好な軽くて吸音性もまた良いものが得られるようになった。窓ガラスも二重窓ガラスの間に吸湿材料を入れたものに代つて乾燥空気を封入したペアガラスも市販されている。車体設計に際して鋼体の強度メンバーと断熱材の重なるところは留意せねばならない。循環空気の回数は坐座車では一時間当り 25~30回であるが寝台車では15~18回が適当である

* 日立製作所笠戸工場

第1表 客車冷房負荷

定 員 (人)	50	60	70
循 環 空 気 量 (m ³ /min)	50	50	60
外 部 か ら の 侵 入 熱 量 (kcal/h)	9,200	9,200	9,200
乗 客 発 散 熱 量 (kcal/h)	5,500	6,600	7,700
新 鮮 空 気 に よ る 熱 量 (kcal/h)	9,200	9,200	11,000
総 冷 房 負 荷 (kcal/h)	23,900	25,000	27,900
所 要 冷 凍 能 力 (冷凍トン)	790	828	923

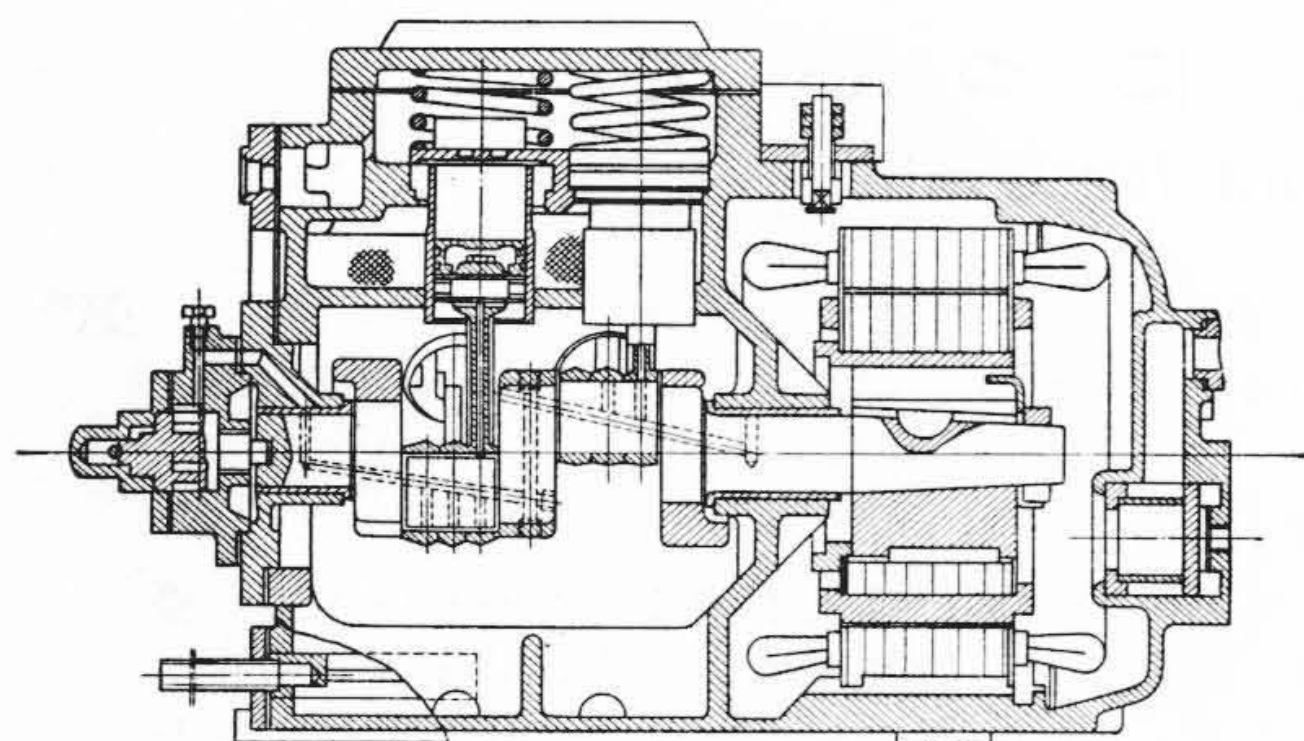
注：算定条件を下記する。

外 気 温 度 32°C 湿 度 80%
室 内 温 度 26°C 湿 度 60%

う。完全冷房では車内に多少の風圧をもたせて扉そのほかの隙間から外気の侵入を防がねばならない。いま新鮮空気の循環空気に対する比を 1/3 とし断熱十分な車の冷房負荷を算定すると第1表のようになる。

冷凍技術の面からは従来事故の原因となる回転部分をもつ機械圧縮機に代る画期的なものとして熱電流の原理から異種金属間に直流電流を通じて温度差を生ぜしめ、冬期は逆極にして暖房への応用も考えられる電子冷房法⁽¹⁾さらに吸収式冷房法としては冷媒としてアンモニアの代りに臭化リチウム、塩化リチウム、トリエチレングリコールを使用して効率を上げることも研究されている。

急速度に進みつつある鉄道の直流または交流電化、車体の軽量高速化を考慮し編成列車全部を冷房するには現状としていかなる方式が妥当であるかということはきわめてむづかしい問題である。しかし電源車に動力を集中し各客車に適当な電圧で動力を送る現在の機械圧縮式の改良型ともいふべき交流電源、密閉型圧縮機を使用せる冷凍サイクルのユニットが考えられる。ユニットの冷凍能力は前述の冷房負荷に適応したものでなければならない。圧縮機、凝縮器、膨脹弁、蒸発器が冷房負荷の変化とともにそれに応じて作動せねばならない。第1図に密閉型圧縮機の断面図を示す。次にこの方式の得失を検討してみる。



第1図 密閉型圧縮機断面図

(1) 電源車に動力を集中することにより車軸から動力をうる場合に必要なる走行時、中間駅の短時間停車時、始発駅、客車区の長時間停車時の三つの場合を考慮した動力源が一つになり著しく軽量簡易化される。

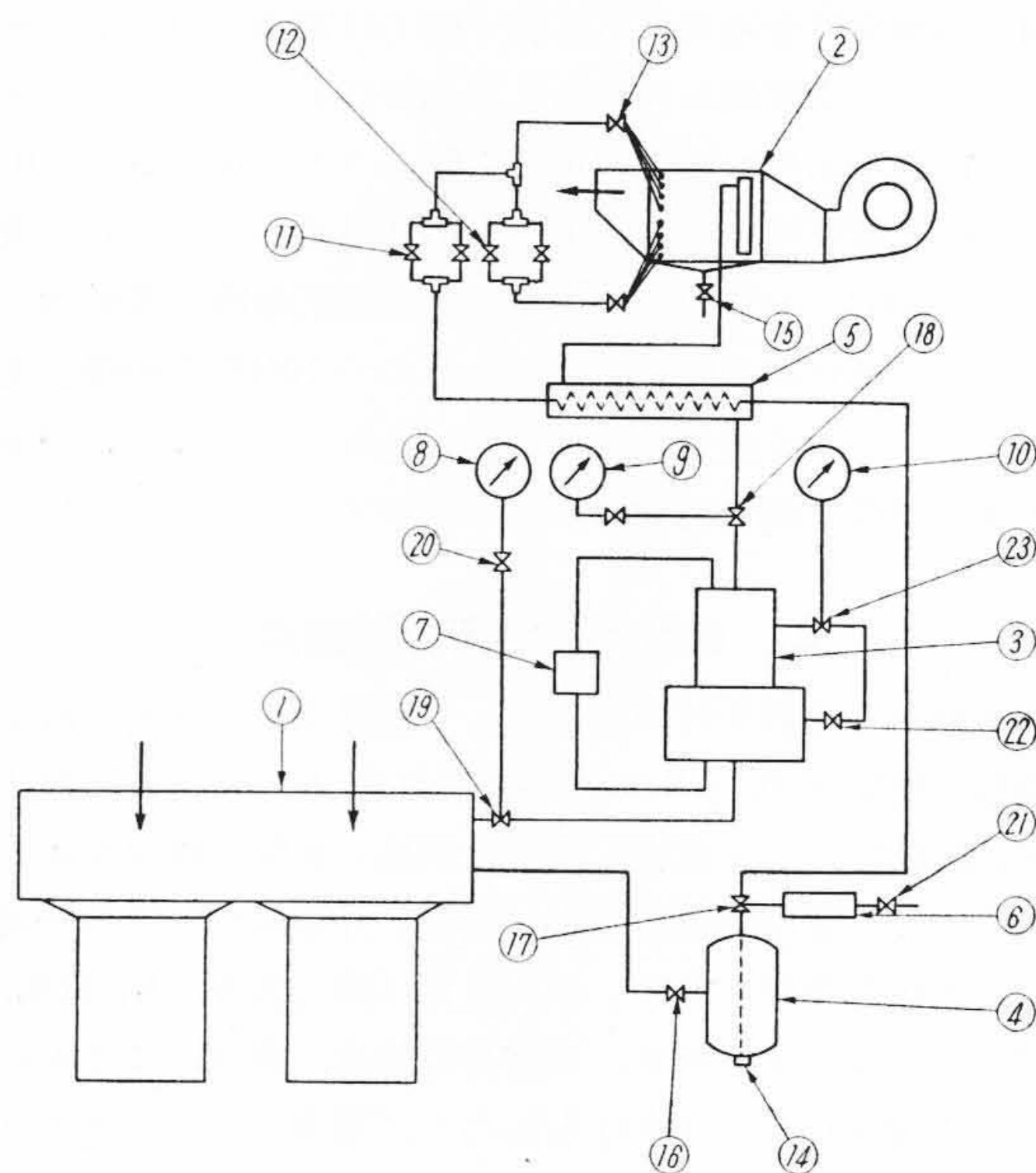
(2) 電源車は電動発電機も考えられるがディーゼルエンジン交流発電機の方が電化区間外でも使用できるので良いと思われる。電源車を列車のどこに設けるかは送電、連結によつて決めなければならない。各客車に交流三相 200V 50/60 $\sim$ の電源を設備するためには適当な電圧で送電し変圧器を使用すればよい。高圧送電による客車の安全性と連結方式の問題は新たな問題を提起するが汎用電機品の使用と外部電源への切換容易な点は多少の制約には換えがたい利点であると思われる。発電機用エンジンとして 500HP 前後のいわゆる中馬力のディーゼルエンジンは戦後広範囲に使用されるようになったこともあわせて考える必要がある。

(3) 従来外国はもとより国内でも採用されていた車軸直接駆動、車軸発電駆動の方式は編成列車の一部の優等車のみを冷房する場合は走行に対する影響は無視しうるが編成全車輻冷房では当然機関車の牽引力に関係してくる。フランス国鉄の例では 15 輛編成重量 600 t の列車が時速 100 km 前後で走る場合、全車輻車軸から空気調和用動力を得るには仮空の重量増加から約 900 t を牽引することになるといわれている⁽²⁾。

(4) 交流使用の最大利点は密閉型圧縮機にある。密閉型とすることにより従来保守の難点となつていた冷媒洩れの原因である走行振動による軸封部の破損事故がなくなるであろう。さらに電動機は冷媒ガスによつて冷却されるため過負荷運転に耐えるが一方電動機の巻線、絶縁材料には特別の考慮が必要である。直流電動機ではコミテータの火花により冷媒が変化し有毒ガス、フォスゲンが発生し重大事故を生ずるので密閉型とすることは不可能である。軸封部がないため回転を上げて小型軽量化することも可能であり、将来車輻の冷房が普及すればタルゴ列車にみられる軽合金製高速回転の圧縮機もわが国に出現するであろう。

第2表 冷房試験装置仕様一覧

(1) 密閉型圧縮機	
Bore. $\times$ Stroke	58 mm $\times$ 50 mm
回 転 数	1,730 rpm
ピストン押のけ量	82.2 m ³ /h
電 動 機	10HP (200V, 三相, 60 $\sim$, 4 極)
(2) 空 冷 凝 縮 器	
Face area	0.87 m ²
Rows deep	8
Fin pitch	4 mm
送 風 機	120m ³ /min $\times$ 2, 20mmAq(プロペラファン)
電 動 機	2 HP $\times$ 2, (200V, 三相, 60 $\sim$, 4 極)
(3) 膨 脹 弁	
6 冷凍トン用	外部イコライザ温度式 2 個
(4) 蒸 発 器	
Face area	0.26 m ²
Rows deep	10
Fin Pitch	3.5 mm
送 風 機	30m ³ /min $\times$ 2, 35mmAq(シロッコファン)
電 動 機	2 HP (200V, 三相, 60 $\sim$, 4 極, 両軸)

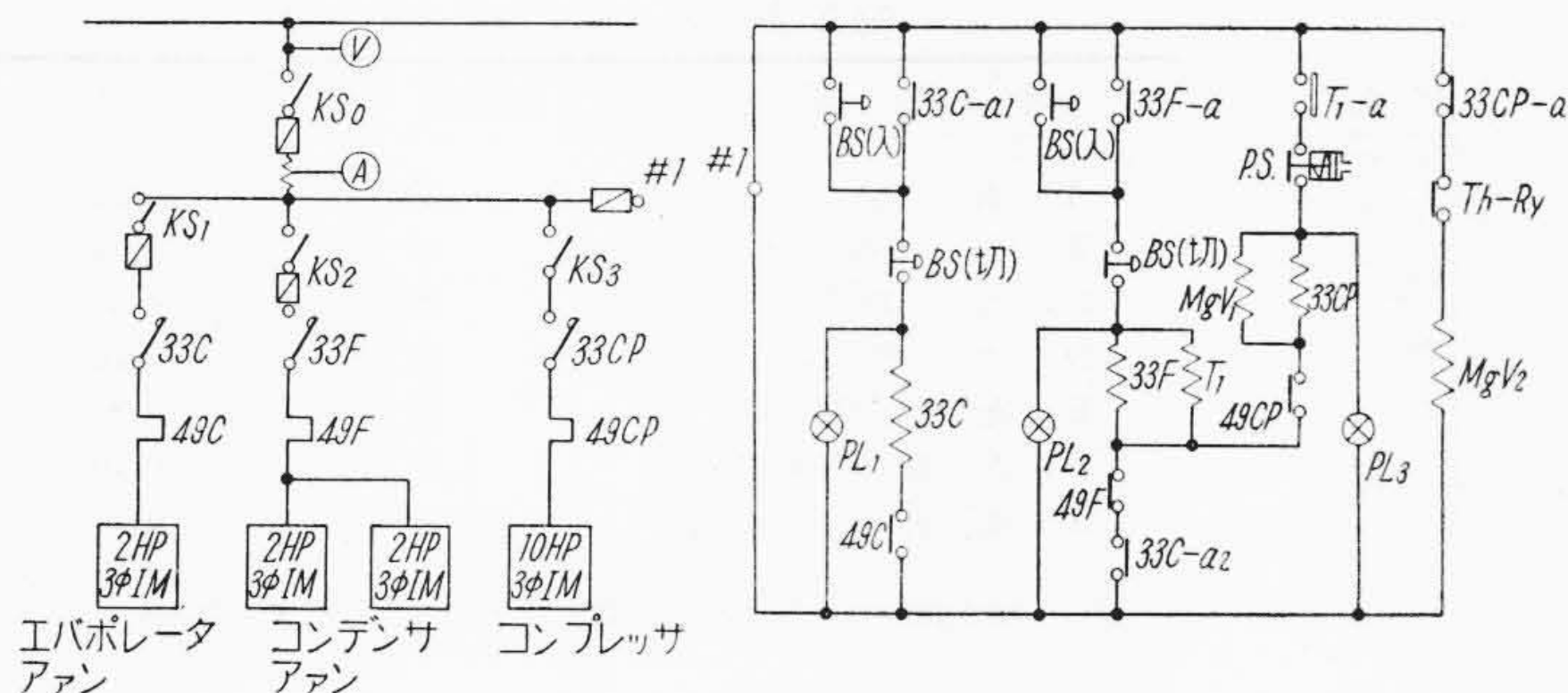


- | | |
|---------------|---------------|
| ① 凝 縮 器 | ⑬ 膨 脹 弁 |
| ② 蒸 発 器 | ⑭ 可 熔 栓 |
| ③ 10HP 密閉型圧縮機 | ⑮ ドレン吐出弁 |
| ④ レシーバ | ⑯ レシーバ入口弁 |
| ⑤ 熱 交 換 器 | ⑰ レシーバ出口弁 |
| ⑥ ド ラ イ ヤ | ⑱ 圧 縮 機 入 口 弁 |
| ⑦ 高低圧圧力スイッチ | ⑲ 凝 縮 器 入 口 弁 |
| ⑧ 高 圧 用 連 成 計 | ⑳ 連 成 計 止 弁 |
| ⑨ 低 圧 用 連 成 計 | ㉑ ド ラ イ ヤ 止 弁 |
| ⑩ 油 圧 計 | ㉒ 油 圧 調 節 弁 |
| ⑪ 電 磁 弁 | ㉓ 油 圧 ゲージ弁 |
| ⑫ 電 磁 弁 | |

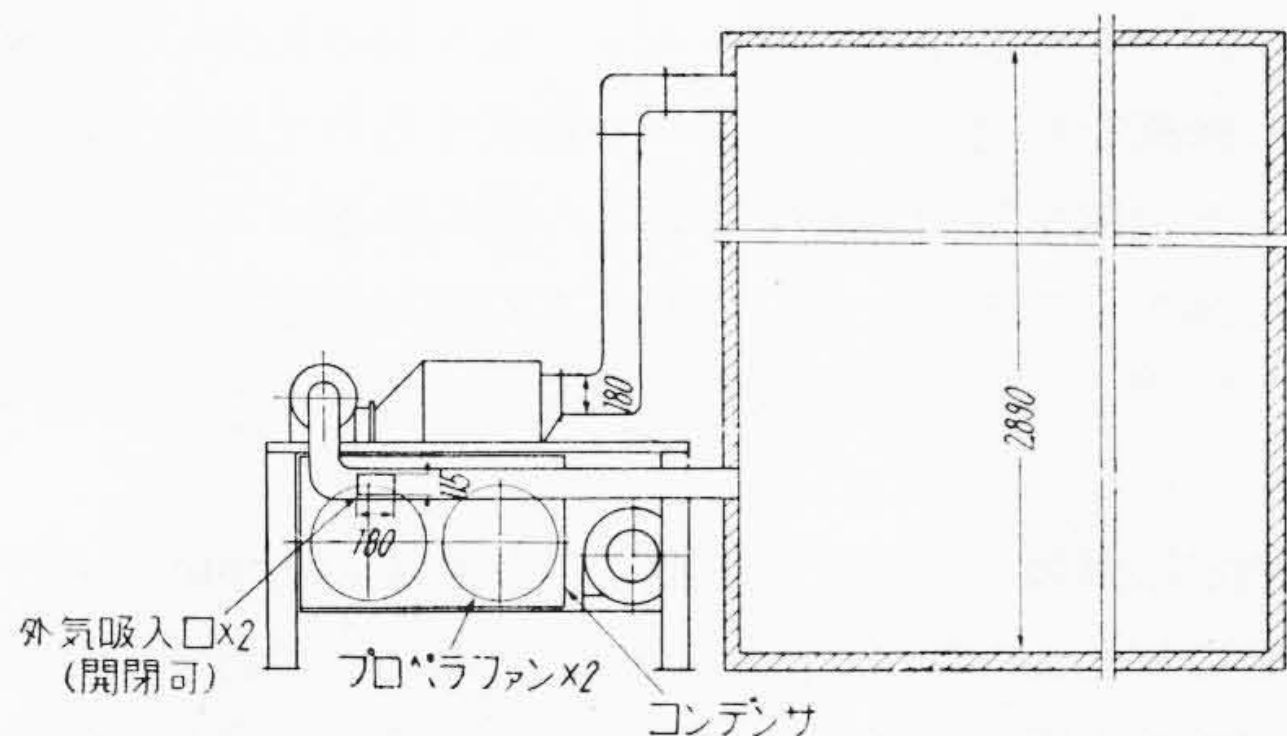
第2図 冷凍サイクル配管系統図

3. 試作冷房装置の概要

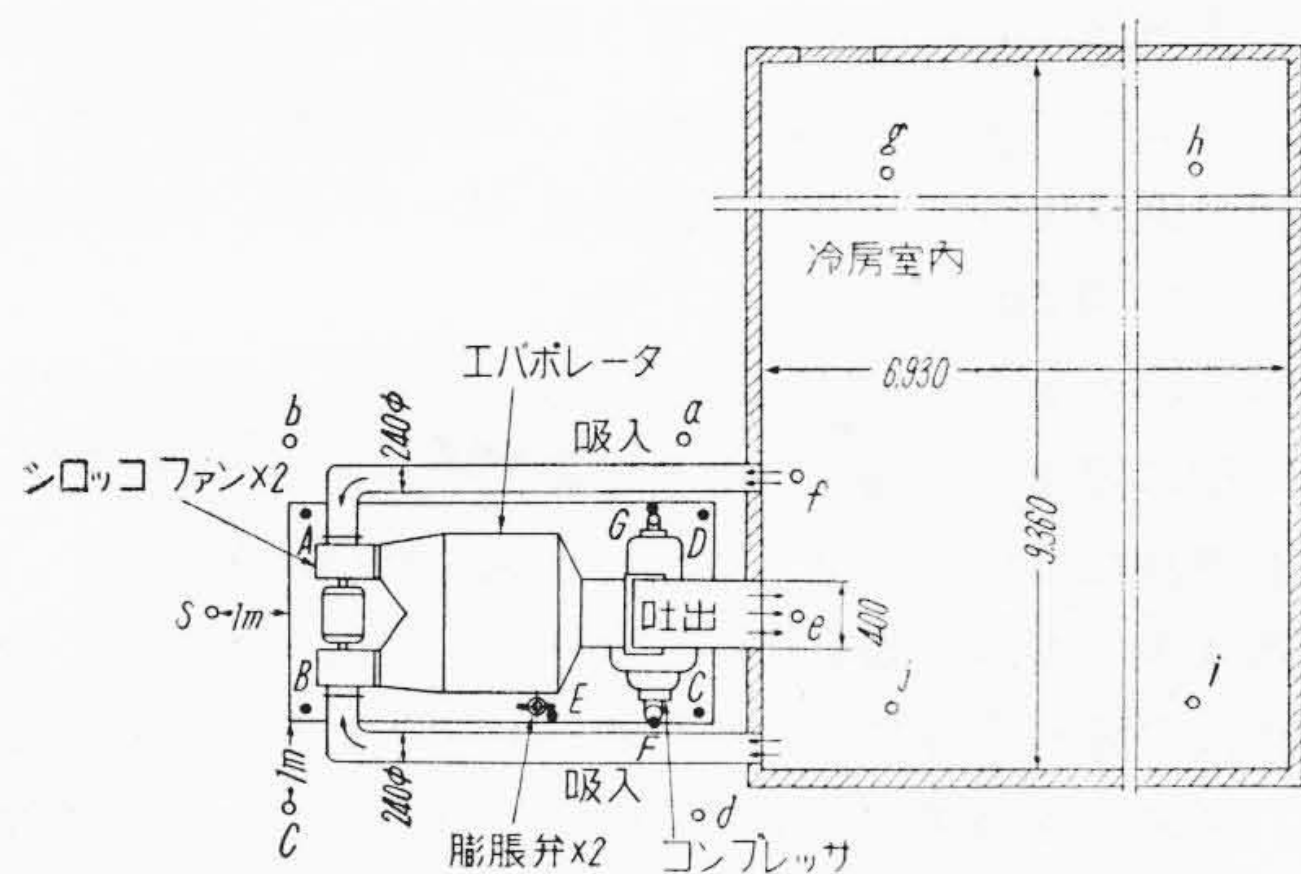
実際には好ましいことでないが真夏には起りうる密閉型圧縮機の過負荷運転試験を目標とした。このため冷媒 F-12 を使用し圧縮機ピストン容量に比し電動機定格出



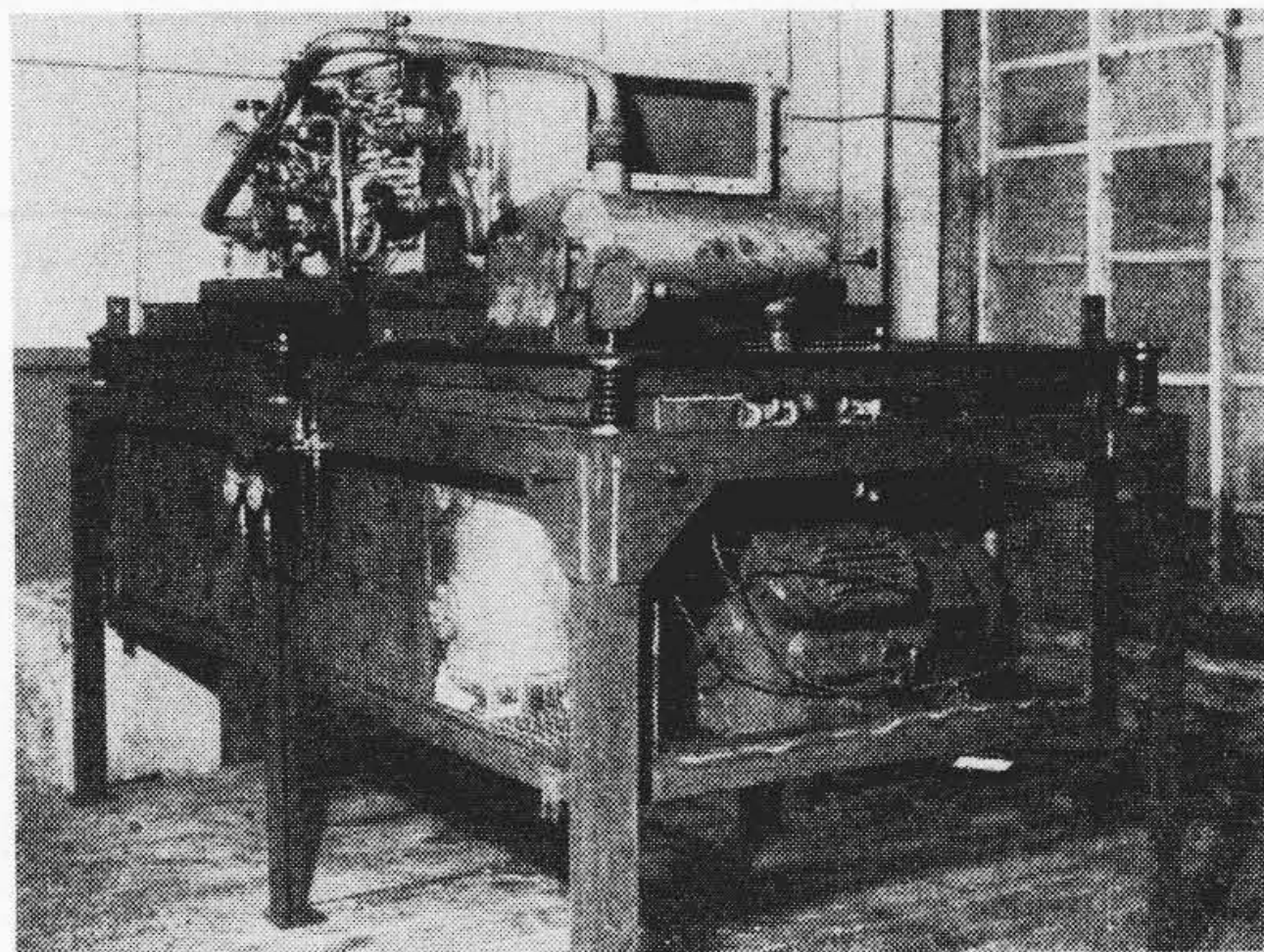
第3図 冷房装置結線図



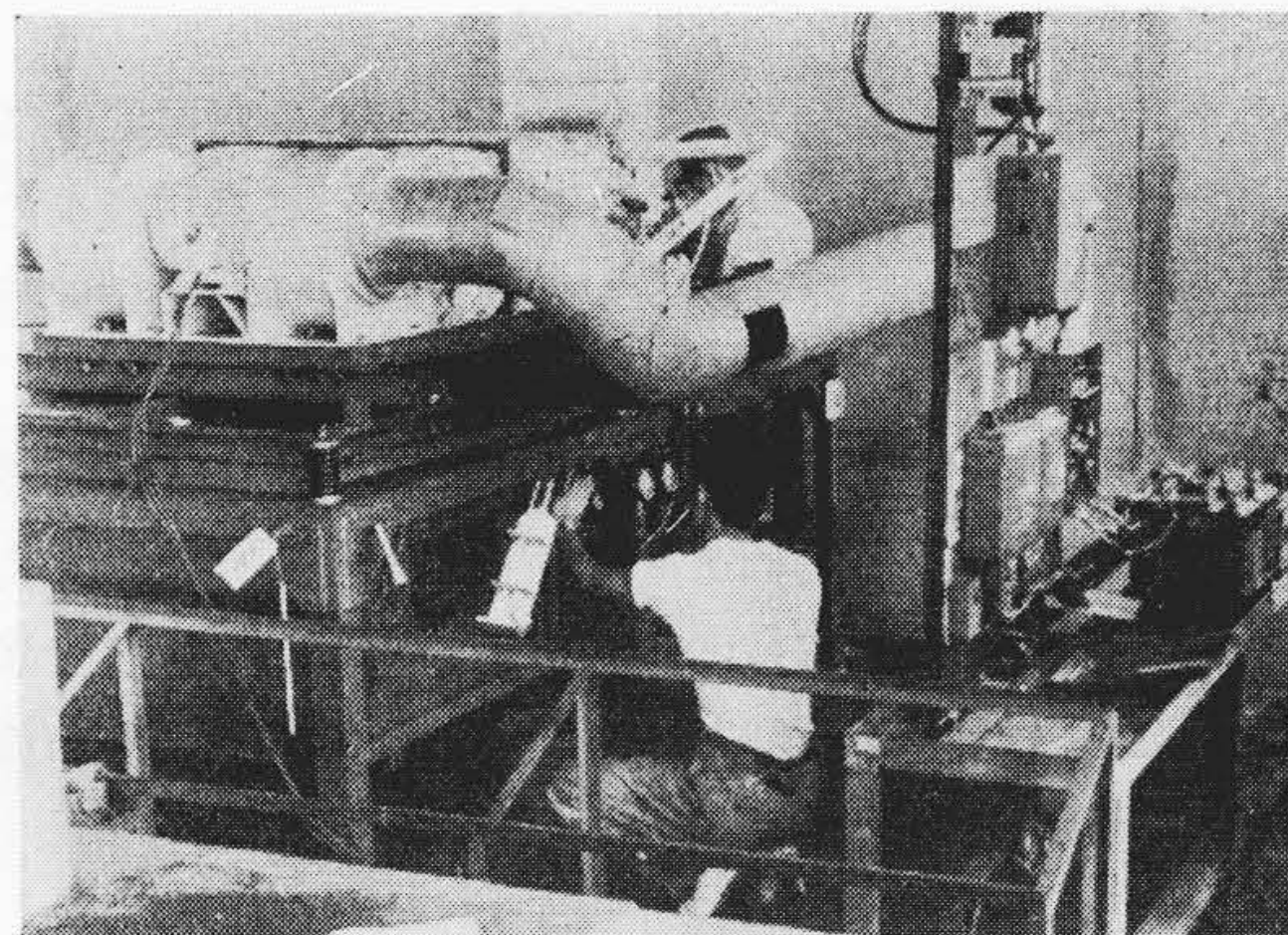
第4図 配置図 (立面図)



第5図 配置図 (平面図)



第6図 冷凍サイクルユニット



第7図 冷房装置試験

力を低くしてある。装置の仕様一覧を第2表としてまとめた。

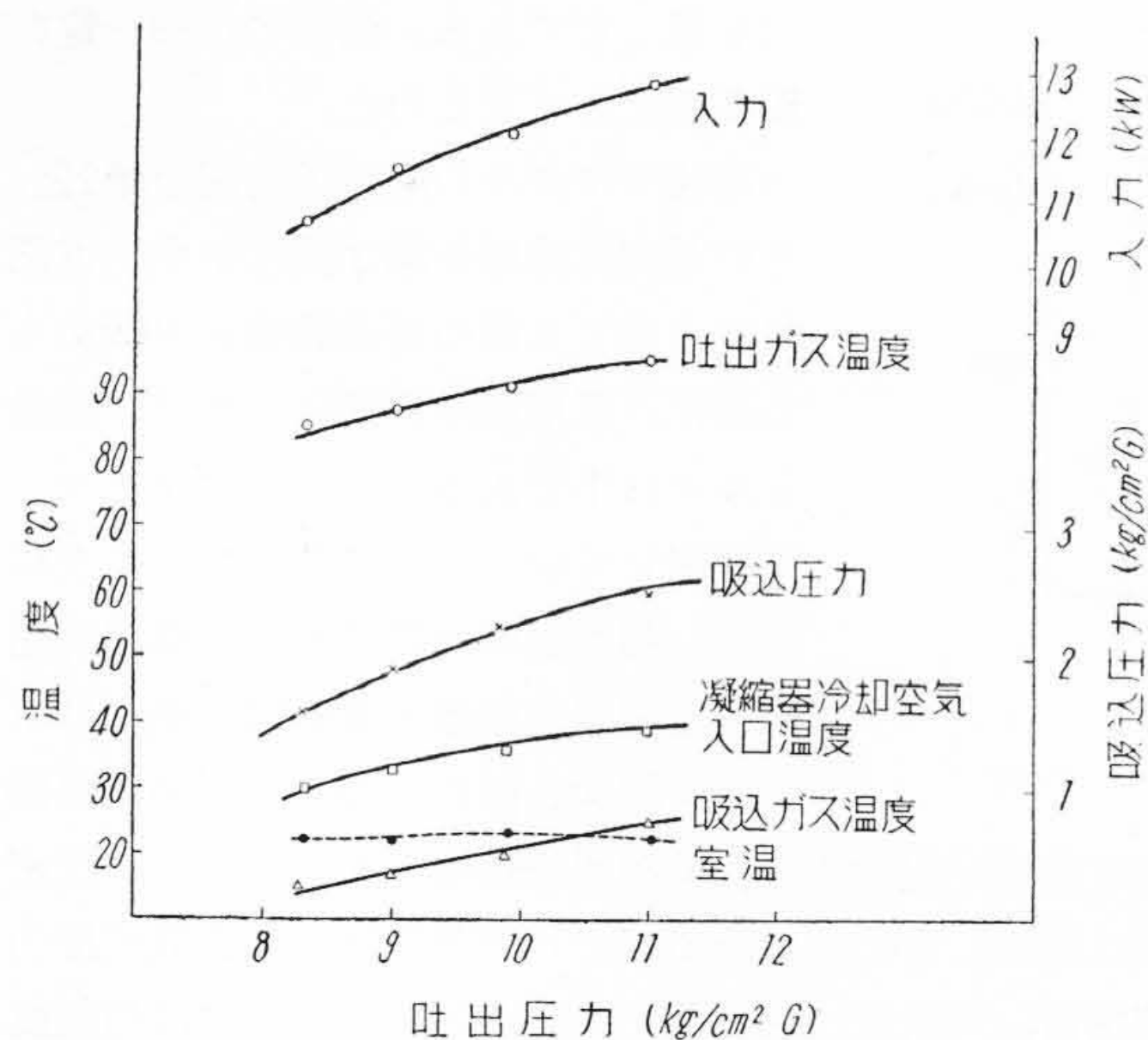
冷凍サイクルの配管系統図を第2図、その電気結線図を第3図に示す。電磁弁によつて2段の容量調整を可能ならしめた。圧縮機はW型気筒配列で起動トルクは小であるが試験にはタイマーを使用していつせい起動しないようにした。起動順序は蒸発器送風機用電動機、凝縮器送風機用電動機の順に押ボタンを押すと任意の設定時間後圧縮機

用電動機が起動する。凝縮器送風機が起動せぬ限り圧縮機は駆動しない。安全装置としてそのほかに高低圧圧力開閉器、可熔栓（融点75°C）を設けた。膨脹弁は信頼度の高い Alco 製のもの2個使用した。凝縮器は走行中十分に空気を送るよう風圧大で夏の道床温度上昇を考慮して大きくしてある。蒸発器用送風機は客室内の騒音を低くするため試験的に塩化ビニール製のシロッコファンを採用した。

試験のための恒温室と冷凍サイクルユニットとの配置関係の立面図を第4図、平面図を第5図に示す。第5図の記号は測定箇所を示すものである。恒温室の容積は実際の客車より大で窓は全然ないが換気扇が設けてある。ユニットは第6図のように上下方向に自由に振動しうるように支持しガイドを設けてある。循環空気のリターンダクトの中間に新鮮空気取入口を備え調節可能となっている。第7図は試験状況を示す。

4. 試験結果とその検討

循環空気の約 1/3 を新鮮空気とし凝縮器冷却空気の温度を変化させることによつて吐出圧力 (P_a)、吸込圧力 (P_s) を変化させた場合の入力、吐出ガスおよび吸込ガスの温度、室温の変化を第8図に示す。恒温室に冷房負荷をかけないで温度を下げた場合室内乾球温度 16°C 以



第 8 図 吐出圧力変化による運転データ

下には下らず，侵入熱量と平衡状態になる。冷凍サイクル，振動，騒音についての検討結果は次のとおりである。

4.1 冷凍サイクル

密閉型圧縮機は長時間の過負荷運転に耐えることが判明した。試験の最大負荷時の入力 P_a は13kWである。圧縮機駆動動力は P_a ， P_s ，回転数の影響をうける。この場合回転数は一定であるが回転数をこれ以上増してもバルブ損失が増加する。さらに高速回転とするためにはバルブ構造を変えなければならないであろう。 P_a 一定では P_s の減少， P_s 一定では P_a の増大とともに動力が増す。圧縮比 $\frac{P_a}{P_s}$ が増すと容積効率が下つてくるので冷凍容量増加は消費動力の増加に比例しない。

凝縮器の能力は冷却空気量，空気と冷媒の温度差に比例する。試験は静止状態で行つたので空気量が増しているが，走行状態ではかなりの静圧を必要とするので風量は減少する。凝縮器の冷却伝熱面積が十分でないと冷凍サイクルの致命的欠陥となる。蒸発凝縮器とすれば伝熱面積が小さくなるが逆に水タンク，ポンプを持たねばならず，長距離列車にとっては逆に保守が面倒となり重量軽減とはならない。

外部イコライザ型温度式膨脹弁は負荷の変動に対してきわめて敏速に作動する。また試験に際して冷房負荷の広範な変化を想定し熱交換器を設けた。しかし実際装置にはなくてもさしつかえないであろう。

蒸発器の冷房容量は循環空気量，冷媒と空気の温度差に比例する。脱湿のためドレンの量は無視し得ないからこれらが噴霧となつて室内に同伴されることなきよう留意せねばならぬ。循環空気量， P_s 一定では循環空気温度が高いほど冷房容量は増大する。

4.2 振動，騒音度

手持振動計によつて測定した結果を第3表に示す。測

第3表 振動測定値

測定箇所	振動数 (c/s)	振幅 (mm)
(A) 台 枠 上 面	29	0.25
(B) 台 枠 上 面	29	0.20
(C) 台 枠 上 面	29	0.35
(D) 台 枠 上 面	29	0.20
(E) 配 管 (膨 脹 弁)	29	0.40
(F) 配 管 (圧縮機吐出)	29	0.10
(G) 配 管 (圧縮機吸込)	29	0.30

注：測定箇所は第5図冷房試験装置平面図を参照せられたい。

定は枠に圧縮機を防振ゴムを介しないで支持した場合の枠自体と配管の圧縮機吐出側，吸込側，膨脹弁の箇所を選んだ。これは車体へのユニット取り付けにおいて圧縮機の振動を可撓管，防振ゴムで吸収するのではなく，ユニット全体を振動させて車体との間に防振ゴムを使用する意図からである。その防振ゴムの選定は車体の走行により生ずるいろいろな振動と共振せざるよう配慮せねばならない。

測定振動数は一定で圧縮機の回転数1,730 rpmから予想せられたように29 c/sである。振幅は枠自体では振動源である圧縮機に近い位置が大である。振動数から明らかのようにユニット全体の振動は圧縮機の回転数によつて支配されている。

一方車体の走行振動はびびり振動も含めて測定位置により，また上下，左右，前後により多種多様であるが，最近の軽量化された車では振動数12~14 c/s，振動加速度として0.2 gといわれている。

騒音は列車走行中は問題にならなくても夜間寝台車などが駅に停車した場合かなりの影響を与える。特に断熱防音された車体ではできるだけ小さくせねばならない。

第4表に掲げた測定値がかなり大きく出ているがこの原因は凝縮器冷却ファンにプロペロファンを使用したこと，循環空気のダクトが測定の便を考慮してブリキで作製したためであることが周波数分析の結果明らかとなつた。蒸発器環循空気用ファンは塩化ビニール製で騒音の低い特性をもっているがダクトとの共振で期待された値

第4表 騒音度測定値 (単位 フォン)

測定箇所	蒸発器ファンのみ運転	凝縮器ファンのみ運転	正常運転
a	67	88	86
b	69	92	86
c	69	89	87
d	65	90	88
e	93	—	89
f	95	—	90
g	70	—	66
h	78	—	68
i	78	—	75
j	77	—	75

注：測定箇所は第5図冷房試験装置平面図を参照せられたい。

以上となつた。ダクトを保温すると騒音度を低くする。凝縮器冷却送風機はシロッコファンを採用すべきであろう。

5. 結 言

密閉型圧縮機を使用したユニットの試験結果を要約してみる。

(1) 冷房容量はピストン押のけ量によつて決まるから容量調整を圧縮機のアノローダで行う方法もある。しかしこの種のW配列の小型圧縮機では起動トルクは小であるから起動のためには必要なく、設けるとすればむしろ配管で行うべきだろう。その理由として電磁弁で気筒を殺す方法、機械的作動方法（高速多気筒型圧縮機に使用）も構造を複雑化するだけで得るところが少ないからである。

(2) 外気温度が上昇すると冷凍容量が減少し動力が増すという結果になる。このため凝縮器容量を大にする必要があり車体への取り付け面積も大となる。列車全体について凝縮器を1箇所を集め得るとすればセントラルシステムによる列車冷房も可能であろう。

(3) 配管途中には洩れの原因となる箇所をできるだけ少なくせねばならない。熔接箇所を増しフレア接手は必要最小限度にとどめる。

(4) 自動温度調節器、電磁弁、膨脹弁は振動に耐えるものでなければならない。自動温度調節器の車体への

取付位置はリターン空気の取入口が適当であろう。

(5) 冷房装置は運転技術員でなく一般乗務員によつて簡単に取り扱いうるようにしなければその普及はあり得ない。簡単な操作法でしかも信頼性あるものが要求されるだろう。

約30年前初めての機械圧縮式冷房車はアンモニアを使用した間接膨脹式で水冷凝縮器なるためクーリングタワーを装備し圧縮機はガソリンエンジン駆動なるため燃料タンクの外に消火のため四塩化炭素のタンクも備えていた。現在では冷媒もF-12, F-22と特性のすぐれたものが得られるようになり換気扇のように簡単に取りはずしのきく小型のユニットも実用化の域に入つた。技術の発展の経過から車輛の空気調和装置の必要かつ十分な条件を列記すると安全性、信頼性、消費動力小なること、コンパクトにまとまっていること、軽量、簡単、静粛、設備費および運転費の低いことに尽きるであろう。

試作試験に当つては日本国有鉄道臨時設計事務所橋本次長、森川技師、鉄道技研長谷川氏らの御指導を賜つた。ここに記して厚く御礼申上げる。

参 考 文 献

- (1) H. L. von Cube: V.D.I.-Z 99, 299 (Marz 1957)
- (2) M. Robert, M. Brun: Revue Generale Des Chemins De Fer 75, 577 (Dec. 1956)

日 立

Vol. 20

No. 5

目 次

- ◎電気と私のスポーツ 菊池 一 雄
- ◎美 しい 音 の 科 学
- ◎浅間火山レースと点火プラグ
- ◎明日への道標(インド国鉄で活躍するEMU型電車)
- ◎シ ョ ー ル ー ム (冷 蔵 庫)
- ◎自 動 エ レ ベ ー タ の い ろ い ろ
- ◎私 た ち の く ら し と 圧 縮 機
- ◎日 立 だ よ り
- ◎テ レ ビ 真 空 管 あ れ こ れ

誌 代 1冊 ¥ 60 (〒16)

発 行 所 日 立 評 論 社
東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地
振替口座 東京 71824 番
取 次 店 株式会社 オーム 社 書 店
東京都千代田区神田錦町 3の1
振替口座 東京 20018 番

日 立 造 船 技 報

Vol. 19

No. 1

目 次

- ◎厚板熔接継手の低温応力緩和法の研究
- ◎熔接箱形けたの研究(第1報)
- ◎ステンレス鋼の切削について
- ◎電磁型トルク計およびねじり振動計について
- ◎船体固有振動数の研究
- ◎ライナ摩耗に伴うピストンリングの圧力分布の変化について
- ◎イオン交換樹脂によるリン酸老化液再生の研究

本誌につきましの御照会は下記発行所へ
御願いたします。

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町60

日立製作所社員社外講演一覧表

(昭和33年2月受付分)

講演月日	主 催	題 目	所 属	講 演 者
2. 6	日本原子力産業会議 日本放射性同位元素協会	放射性煙霧質の処理装置の試作研究	日立工場	諫 早 典 夫
4. 1	炭化物研究会	軸受鋼の炭化物の電解分離に関する研究	水戸工場	渡 辺 明
2. 21	中国熱管理協会	小型焼入炉の温度自動制御について	笠戸工場	小 橋 吾 市
1. 21	日刊工業新聞社	I.B.M. 活用による工程管理	亀有工場	八 島 庄 衛
2. 7	日刊工業新聞社	トランスファマシンのについて	川崎工場	中 村 昌 夫
2. 4	日本原子力産業会議	水平透過型γ線液面計に使用するCo ⁶⁰ の必要量について	多賀工場	諏 訪 志 朗
3. 30	国鉄X線技師会	X線装置の最近の発達	亀戸工場	和 田 正 脩
2. 1	新潟県技師会	X線高電圧装置の絶縁について	亀戸工場	津 守 徳 郎
2. 17~18	東京電力KK茨城支店	光源の知識・工場照明	亀戸工場	藤 原 靖 郎
3. 13~14	大阪大学医学部付属X線技師学校長	最近のX線装置における諸問題と今後の傾向について	亀戸工場	津 守 徳
2. 26	日本造船工業会	有害放射線の線量測定方法	亀戸工場	和 田 正 脩
4. 6	愛媛県X線技師会 会長	最近の日立X線装置について	亀戸工場	和 田 正 脩
5. 上旬	電気通信学会他 三学会	表面波線路の送受信装置における整合	戸塚工場	針 生 時 夫
3. 18	東京都合成樹脂工業技術研究会	塗料用空乾性ポリエステルレジンについて	絶縁物工場	安 岡 嘉 雄
2. 21	兵庫県電気協会	最近の自家用変電設備	大阪営業所	岡 本 博
2. 14	日本学術振興会	流水中の金属の腐蝕	中央研究所	岡 北 川 窪 一 公 杼 倉 秀 郎 土 倉 秀 次
3. 1	電子顕微鏡学会関東支部	超ミクロトーム	中央研究所	渡 辺 宏
3. 30	日本物理学会	固体による高速電子のエネルギー損失	中央研究所	渡 古 畑 芳 重 古 黒 崎 重 彦 黒 崎 重 彦
2. 26	日刊工業新聞社	各種製品別によるメッキの選択法	中央研究所	北 川 井 章
3. 5	原子力産業会議	原子動力ゼミナー、電気グループの中「BWR型について」	中央研究所	北 川 井 章
2月,3月,4月	日本規格協会	直交配列について	中央研究所	島 田 正 三
2. 25	高分子学会	接着強度の理論	中央研究所	福 村 勉 郎
5. 17	日本材料試験協会	タングステン線のクリープ	中央研究所	大 原 秀 晴
2. 14	日刊工業新聞社	電気機械の潤滑	日立研究所	高 橋 治 男
4. 1	東大工学部冶金科 内高温顕微鏡研究会	炭素鋼のオーステナイト結晶粒の成長および 工具鋼のKRの分解過程の観察	日立研究所	高 小 橋 林 豊 小 根 本 治 正
3. 27	日本物理学会	酸化物焼結体における折出	日立研究所	野 中 甲 藏
2. 17~18	東京電力KK茨城支店	商店照明について	本社	田 中 正 次
2. 20	鉄道通信協会	自動交換機の趨勢について	本社	村 上 武
2. 14	明治乳業KK	冷凍機の取り扱い方	本社	秋 田 昭 三
3. 15	日本機械学会	設備投資のオペレーションズリサーチ	本社	村 川 武 雄