蒸気噴射ポンプ用油について

伊 藤 昭 夫*

(昭和37年7月10日受理)

Working Fluids For Vapour Pumps

Akio ITO

(Electrotechnical Laboratory, Tanashimachi, Tokyo)

1. 序

W. Gaede により始めて水銀拡散ポンプが発表されたのは1915年のことであるが、その作働液として水銀の代りに油が用いられるようになったのはそれよりもずっと遅く、1928年英国の C. R. Burch¹⁾ が石油の高沸点溜分を作働油に用いたのを嚆矢とする。その後 K. C. D. Hickman²⁾ らによる高沸点エステル系油の開発を経て1945年にはシリコン油の応用を見るに到った³⁾。

この前後からの真空技術の発展は誠に目覚ましいものがあり、それにつれて拡散ポンプなどの改良進歩も大に行われたが、ポンプ油には余り注意が払われず、ポンプ作働液の特性を系統的に調べた Latham⁴⁾ の発表(1952年)以来これに関した論文、解説なども可成り見られるようになった。

ここではポンプ油の真空特性をポンプの作働機構と併せ考え、これとの関連において、油の諸性質を検討することにした。

なお真空ポンプ油一般については石井⁵⁾ の、また拡散ポンプ油の開発を期待する立場から理科学的性質を見たものとして表⁶⁾の解説がある。

2. 蒸気油ポンプ油に要求される基本的性質

蒸気噴射ポンプはその作働圧力域により、拡散ポンプ($<10^{-3}$ Torr)とエゼクタポンプ($10^{-1}\sim10^{-4}$ Torr)に大別され、排気作用を行う蒸気流密度がそれぞれ異なるから、ポンプの作働に必要なボイラ圧も異なり、前者では0.5～1 Torrもあれば充分であるのに後者では数～10数 Torr、特にポンプの背圧を大きくしようとする場合には数10 Torrにも及ぶことがあり、これらの作働油も自ら

異ってくる。

しかし乍ら、これら真空ポンプ油に共通した本質的要求は何と云っても真空特性であり、次いで寿命、コストなどが問題になる。

ここに云う真空特性とは、i) 到達真空度、ii) 排気速度、iii) 臨界背圧などである。

こうした真空特性はポンプと油を総合して考えられる特性でポンプ、特にジェット系の構造と密接な関係があり、油とポンプを切離して考えることは余り意味がないのであるが、強いて云えば i) の到達真空度に対しては油の方が一次的に、ii)、iii) に対しては油よりもポンプの構造が一次的に作用すると考えられる。

一般に蒸気ポンプ油に共通して望まれる性質は、1) 油蒸気分子が可成りに大きいこと(分子量250～300以上)、ii) 常温で蒸気圧が低いこと、iii) 非揮発性、iv) 耐熱性、v) 耐酸化性、vi) 低凝固点、vii) 低温でも粘性が余り高くない、viii) 非腐蝕性、ix) 無毒性、x) 安価なことなどである。

この中 i)～v) の諸性質は先に述べた真空特性に何等かの意味で関係があるものであり、vi)～x) は取扱および使用の便の点から要求されるものである。

第1表に主な油とその性質を掲げる。

3. 到達真空度

油の到達真空度については石井⁷⁾、Latham⁸⁾、Coe⁹⁾らが検討しているが、その測定はなかなか難しい。

油の到達真空度を問題にする時は真空系に洩れか壁からのガス放出があつてはならない。斯る理想的な系が仮に得られたとして、到達真空度 P_0 (実測値) は次のように表わされる⁷⁾。

$$P_0 = P_{01} + Q / (\alpha \cdot S_0) + (\beta/\alpha) \cdot P_i$$

* 電気試験所真空技術研究室(北多摩郡田無町上向台)

第1図 到達真空度と作働温度の関係

P_{oil} : 真空計に到達した油蒸気に対する真空計のよみ、

Q : 油の熱分解により高真空側に拡散したガス量、及び真空計で分解して発生したガス量の総計

$\alpha \cdot S_0$: 蒸気噴流の状態で定まるポンプの正方向の排気速度、(S_0 は蒸気噴出部と壁との隙間のコンダクタンス)

P_r : 背圧側の圧力

β : 背圧側からの逆拡散の度合を表わす係数、即ち高真空側に一番近い蒸気噴流中のガス分圧を P^* とするとき

$$\beta = P^*/P_r$$

此の式の右辺第1項は油の蒸気圧、即ち現象としては油蒸気の逆流、第2項は油の熱分解、第3項は被排気ガスの背圧側からの逆拡散の度合がそれぞれ関与することを示している。

第1図は到達真空度と温度の関係を示したものである。低温側から次第に温度を上げて行く。最初ポンプが正常に作働していない時は $Q \div 0$, $\alpha = 1$, $\beta = 1$ で P_0 は P_r であるがポンプ作働の開始と共に次第に α , β は減少する。 α の減少のし方に比べて β の変化の方が激しく P_0 は次第に下る (a 曲線)。 $Q \div 0$ のうちは P_0 は更に下り、 $P_0 \div P_{oil}$ となり作働温度に関係なく b 線にのる。 P_{oil} が非常に低い時は、 $P_0 \div Q/\alpha \cdot S_0$ であるから b 部よりも更に下り、やがて b' に到り Q の影響を受けて上昇曲線にうつる。C 曲線で示される上昇部は Q の上昇、 α の減少の両方の影響を受けているものである。実際に多段ポンプを作働させた時には実線で表わ

第2表 到達真空における残留ガス組成
(単位 10^{-6} mTorr)

ポンプ作働液	アビエゾンC	水	銀
トラップ温度	20°C	-78°C	
H ₂	9	—	
H ₂ O	9	19	
CO	2.5	9	
空気	1.5	1.0	
CO ₂	2	1.5	
Σ CH	60	4	
Hg	—	205

第2図 油蒸気の逆流の原因 (Power¹⁰⁾ から引用)

された平坦部を示すものが多く、ポンプは可成り広い領域 (10~20°) に亘り正常に作働するものである。

第2表には到達真空における残留ガスの組成を示してあるが、ポンプ作働液に多いに影響され、油の場合は水銀の場合に比べて炭化水素が圧倒的に多くなっている。

シリコーンウルトラ (ポリフェニル・メチルシロキサン) を用いた場合には質量数 43 [(CH₃)₂Si—] ~120 ±5 [(CH₃)₂Si(OCH₃)₂] のものが H₂, H₂O などに比べて圧倒的に多いが、これら分解生成ガスはバッフル温度を -40°C 位迄下げることに by 殆ど捕捉される。

4. 油蒸気の逆流

前節に述べたように到達真空度と油蒸気の逆流とは非常に密接な関係がある。

油蒸気逆流の原因については小林¹⁰⁾・Power¹¹⁾等が調べている。第2図に示すように、ポンプ冷却壁上の凝縮

第3図 油の逆流速度¹⁰⁾ (金属製非分溜型ポンプのトップジェット直上のポンプ吸入口で測ったもの)

油膜からの再蒸発、トップジェットから噴出した蒸気流表面層からのエフュージョン、トップジェットのノズル内で傘の内側に凝縮した油膜が傘の外側に裏返りここか

ら蒸発するなどが考えられるが(図のⅢのトップジェットの固定部分からのリークは最近のポンプでは考慮する必要がない)、両者共Ⅳのトップジェットの傘のヘリからの返りが支配的であることを報告している。

第3図は油による逆流量の差を調べた Power らのデータをポンプ吸入口の単位面積当りに換算して、更にDC-704 のデータ¹²⁾を書き加えたものである。a) は $\text{mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ 、b) は分子数/ $\text{cm}^2 \cdot \text{min}$ で示してあるが、DC-702 の場合、アピエゾンCなどと比べて可成に多いように見えるけれども、同一入力でも油によりボイラ圧(蒸気噴流密度)が異っているのでこれを考慮すると、PC-702 の 150watt とアピエゾンC の 250watt が大体同一条件になり、この場合の逆流量はほぼ同じような値を示し、逆流量はボイラ圧(蒸気噴流密度)に比例していることがわかる。

なお逆流蒸気分子と被排気ガスとの衝突が問題になるような処 ($>10^{-4}\text{Torr}$) まで高真空側の圧力が高くなると逆流量が減少してくるのは当然の結果である。

こうした逆流を防ぐ方法を小林、Power 両者共それぞれ考えているが、前者はトップジェットの傘の周縁にヒータを捲いて加熱し、蒸気が凝縮するのを防ぐのに対し、後者は外側に冷却保護環をつけて、凝縮した油膜の再蒸発を防ぐことを考え、全く対称的な対策を採っているのは面白いことである。

5. 油の蒸気圧

ここで油の蒸気圧が問題になってくる。種々の油の蒸気圧データを第1表及び第4図、第5図に示してある。同一物質でも測定法や測定域により異ったデータを与えるので広い温度域に亘り外挿して得た値を相互に比較するのは余り意味がないが、Simmler¹⁶⁾ らのデータによると新しいシリコーン油、Silikolen-ultra が室温附近では特に低い値を示している。

また、 $1/10 \sim 10\text{Torr}$ の領域では測定の大困難も手伝ってデータが極めて少いが、実際にポンプを働かせる場合、ポンプの作動温度即ちボイラ圧が大体この附近にあり、必要である。

第4図は石井・中山¹⁴⁾の測定によるものである。また $1 \sim 10^{-7}\text{Torr}$ の値が、S. Dushman¹⁵⁾、及び W. E spe¹⁹⁾ の参考書に表示されている。

第5図 蒸気圧曲線(高温部)

(第5図の記号説明)

記号	油名	比重 (25°)	蒸発熱 Kcal/mol	註
H-1	炭化水素(絶縁油)	0.906	15.7	高沸溜分
H-2	〃 (スピンドル油)	0.844	11.1	松村石油製
H-3	〃 (エゼクタ油 Neovac ME 250)	0.853	14.5	〃
H-4	〃 (エゼクタ油 Neovac ME 300)	0.872	18.4	〃
H-5	〃 (エゼクタ油 DE)	0.844	15.0	旭真空製
H-6	〃 (拡散油 Neovac MD 350)	0.887	18.8	松村石油製
H-7	〃 (拡散油 Neovac MD 400)	0.878	20.0	〃
A-1	アルキルナフタレン (C:12)	0.932	20.4	ライオン油脂製
A-2	〃 [拡散油 A. (C:16~18)]	0.903	21.9	〃
D-1	五塩化デフェニル	1.52	17.0	カネクロール 500
D-2	四塩化デフェニル	1.454	16.3	カネクロール 400
D-3	三塩化デフェニル	1.375	15.0	カネクロール 300
E-1	D.E.P.	1.118	16.0	
E-2	D.B.P.	1.046	17.7	
E-3	D.E.H.P.	0.983	22.0	
E-4	D.E.H.Az.	0.914	22.8	デ・2エチルヘキシル アゼレート
E-5	D.E.H.S.	0.912	22.3	
F-1	ポリ三弗化塩化エチレン	1.76	14.4	ダイフロイル #10中間成分
S-1	シリコーン油 DC-701	1.027	18.3	高沸溜分

また熱分解に際して分解ガスの発生のみならず、重縮合によるタール化現象も起り、ノズルのヘリ、蒸気導管内、ボイラ底部などに黒色の固着物を生ずることもある。

このような現象も含めて耐熱性はシリコーン油>塩素炭化水素>エステル>炭化水素の順に低下する。

第6図の(b)は横軸に温度の代りに蒸気圧をとったものであるが、ポンプ作働油としての耐熱性を比較するにはこの方が便利である。

以上に述べたガラス容器中の油の熱分解反応では反応速度恒数が極めて小さいために分解速度が時間に関係せず一定である如くに見られ見掛上零次反応のような挙動を示している。

しかし乍ら、実際には分解量は油量に比例しており、反応機構は硝子表面での接触反応ではなくて、油の液相内における均一な一次反応であると考えられる。

次に実際に用いるポンプは金属製ポンプであることが多いので、この場合を追跡する意味で、D.B.P., 石

第3表 ポンプ油熱分解ガス中の非凝縮性成分

試料	非凝縮性成分比 (モル%)	熱分解の活性化エネルギー
E-2	D B. P 80	29
E-3	D E H P 37	32
E-4	D. E. H A ^z 69	40
E-5	D. E. H. S 72	38
S-1	DC-701 高沸溜分 24	18
H-1	石油系絶縁油高沸溜分 10→22	15→26
H-5	石油系エゼクタ油 30	15
D-1	5塩化チフェニル 21	41
D-3	3塩化チフェニル 12	25
A-1	アルキルナフタレン (側鎖C: 12) 22	18
A-2	アルキルナフタレン (側鎖C: 16~18) 27	18 3
F-1	三弗化塩化エチレン低重合油 48	28

油系、アルキルナフタレンなどについて、ボイラ中および蒸気相中に Fe、Cu、真鍮、Al 板などを投入して、ガス発生速度の変化、および金属表面層の変化を調べているが、殆ど変化は認められない。

ただ塩化チフェニル - Fe 系については、ガス発生速度が2倍位に増え、またこの金属板を空気中に放置した場合に著しく錆を生じ易くなったことが認められているので、この場合には金属表面が何等の形で反応に関与しているものと考えられる。

7. 被排気ガスの逆拡散

蒸気ジェノトを通して背圧側から高真空側に被排気ガスが逆拡散することは、背圧が臨界値近くに上昇する迄は極めて僅かで、特別の超高真空系以外では殆ど考える必要がない。

Florescu²³⁾ が H₂ について行った実験では、蒸気ジェノトを通して行なわれる逆拡散は殆ど問題にならず、ボイラ内に入ってノズルから蒸気と共に噴出し、高真空側へ返るものが大部分を占めていた。

この場合も、ボイラから出た分解ガスも含めて、被排気ガスが背圧空間で凝縮還流する作働液中に溶け込んでボイラ中に入り、蒸気噴流と共にノズルから噴出する過程で高真空側に、back effuse するものの影響を無視することは出来ない。

そこで、比較的高温で油中へ溶け込んだガスの溶解度のデータが必要となるが、有用なデータは殆ど見当らない。メチルポリシロキサンについて 28°C (82°F) で空気を21% (容量) 吸収するというデータ²⁴⁾もあるが、米田らが DC-703について行った実験²⁵⁾ (予め120~140°

Cで脱ガス処理を行ったものに 20°Cで吸収させる) では N₂, H₂, CO, CO₂ は全然収着されず O₂ が微量、H₂O が可成りの量収着されることが認められている。

普通の油の場合も空気などを多量に溶かしたりすることは考えられないが、自己の分解ガスなどに対する溶解度は可成り大きいと思われるから、ボイラを介するこのような循環作用の平衡状態の成立が、油拡散ポンプの到達真空度決定の一因子となっているのではないかと筆者は考えている。

8. 油の寿命

油の寿命に関係するのは耐熱性、耐酸化性、耐化学薬品性などであるが、耐熱性については既に前節で述べた。

8.1 耐酸化性

大量の空気を排気する場合とか、あるいはポンプの運転中事故により空気が系内に侵入した場合など耐酸化性が問題になる。

試験法としては

イ) 作働状態にあるポンプ油を一定時間大気圧に曝しその後の排気特性 (到達真空度、排気速度など) の回復状態、油の着色状態などを見る。

ロ) 短時間の空気導入を繰返し、ついにポンプが作働しなくなる迄の導入回数を調べる、

の二法がある。

イ) の方法を用いた石井の実験結果²⁶⁾ を第4表に示す。

シリコン油以外の油は何れも着色を示しているが、中には空気導入試験後却って到達真空度のよくなったものもあり、これは化学的に不安定な不純物が先に撰択的に酸化分解されるためと考えられる。

第4表 拡散ポンプ油の酸化試験

試料油	大気圧曝露 (°C)×(分)	回復所要時間 (分)	回復到達真空度 (Torr)	試験前の到達真空度 (Torr)	最適作働温度 (°C)
鉱油	196・10	60 120	1・10 ⁻⁵ 6・10 ⁻⁶	2.5・10 ⁻⁶	186
アルキルナフタレン	187・3 200・10	60 75 60 75	1・10 ⁻⁶ 5・10 ⁻⁷ 1・10 ⁻⁶ 4・10 ⁻⁷	1・10 ⁻⁶	177
*D. O. H. P	168・3 171・5 182・10	60 60 60 110	8・10 ⁻⁷ 1.5・10 ⁻⁶ 5.5・10 ⁻⁶ 4.5・10 ⁻⁶	1・10 ⁻⁶	159
DC 702	172・5 184・10 199・20	60 60 60	9・10 ⁻⁷ 1.5・10 ⁻⁶ 5・10 ⁻⁶	1.5・10 ⁻⁶	162
DC 703	230・10 238・30	65 60 90	1・10 ⁻⁶ 4・10 ⁻⁶ 1.5・10 ⁻⁶	5・10 ⁻⁶	205

(注) 太線の部分が実測範囲
第6図 油の熱分解速度
(記号説明は第3表と同じである。)

ロ) の繰返し導入法による試験は Latham⁴⁾、Huntress¹²⁾ らが行っている。第5表に Latham の試験結果を示す。

Huntress がガラス装置で DC-704 などに対して行った試験結果は第7図に示してある。

繰返し導入試験の場合でもイ) の試験と同様、当初は到達真空度が向上することがシリコン油の場合認められている。また試験後のジェット系の外観を見ると炭化水素、エステルではノズルの下、ボイラ部などにタール状分解物が固着するが、塩素化炭化水素、シリコン油などでは少し着色する程度である。

この安定試験の結果も、耐熱性と同様、シリコン油、塩素化炭化水素>エステル>炭化水素の順に耐酸化性は減少する。

塩素化炭化水素、シリコン油などは熱的にも耐酸化性でも極めて安定であるから熱時の空気の導入が可能であり、ポンプ系のバルブを省くとか、あるいは操作時間、手間等を節約出来る利点がある。

8. 2 耐化学薬品性

ポンプ油で一番問題になるのは空気中の湿気である。エステル類では加水分解が起ることを指摘した報告もあるが²⁷⁾ それ以外の炭化水素、シリコン類ではこうし

第 7 図

第 5 表 拡散ポンプ油の酸化試験

試料油	曝露回数		備 考
	実験 I	実験 II	
Apiezon B	491~504	670~714	油の分解のため ポンプ作用停止
〃 C	160	205	
〃 BW	279~307	—	
D. E. H. S.	323~359	302	
T. m. C. P.	574~582	516~583	
T. X. P.	368~430	566~583	作働油が補助ポンプの方に使われてポンプ作用を停止
Narcoil-10	964~980	—	
DC-703	1100	—	
〃 702	500<	1516* <	
〃 704	2072	—	

註 背圧側バルブを閉めてヒータを切った後空気導入 5 分放置、再び 15 分排気してポンプ作用の回復を確認してまた試験を繰返す。

*背圧側に冷却トラップを入れて油の消失を防ぐ。

た影響は認められない。

8. 3 耐放射性

DC-704 は従来の有機ポンプ油に比べ特に γ 線に対して抵抗性がある。Co⁶⁰ による γ 線照射試験の結果は第 6 表に示す通りである。

9. 拡散ポンプ油使用上の注意

第 6 表¹²⁾ ; 線照射前後の到達真空 (Torr)

拡散油	照射量	前	後
D. E. H. P.	100 Megarep	2×10^{-6}	3.3×10^{-4}
DC-704	200 〃	2×10^{-6}	2.5×10^{-6}

超高真空系あるいは特にある種の油蒸気存在を嫌う場合の他は、所謂高真空を必要とする真空工業（真空蒸着、電子管工業）の他、粒子加速装置、電子機器装置などでも $10^{-5} \sim 10^{-6}$ Torr の真空が得られれば充分であるから特殊の油を使用せねばならぬ必要は殆どない。安価な油を選び、惜し気なく油を取換えることが得策である。

シリコン油を用いた真空系内で光電子-、二次電子放射体などを取扱う場合、電子衝撃によりシリコンを含む分解物が析出すると利得の低下など放射面に好ましくない影響をおよぼすことが認められている²⁾。

また Dayton²⁰⁾ はシリコン油の場合、電離真空計を永く使用していると管壁に分解生成物が絶縁被膜を形成するために感度が次第に減少すると述べているが Latham の実験⁴⁾ ではこうした事実は認められていない。

なお特殊の場合として超高真空の作製に用いる油であるが、一頃はオクティル-S でなければならぬようにいわれていたが、要するに超高真空になる部分を充分に脱ガスして冷却した後ポンプ油あるいは分解ガスがこの部分に迄表面移動あるいは壁面からの再蒸発の繰返しにより逆行してくる迄の時間が長く保たれればよいので、特に最近では、ゼオライト、モレキュラシーブなどを利用した収着トラップも用いられるようになったので、特に熱分解し易いものと蒸気圧が高いものでなければ、炭化水素（石油の高沸溜分アピエゾン C など）、シリコン油（DC-704・シリコーンウルトラなど）などは勿論のことアルキルナフタレンなども用い得ると思われる。

また昨年アメリカ真空学会第 8 年会で Hickman により発表されたポリフェニルエーテル $[(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{C}-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_5]_n$ は特に冷却しないでも 10^{-9} Torr の超高真空が容易に得られるといわれている。

9. 結 語

以上真空ポンプを使う立場から蒸気ポンプ用油の特性を概説した。資料その他いろいろと御教示いただいた、当所材料部 真空技術研究室長 石井博博士に厚く御礼申上げる。

〔文 献〕

- (1) C. R. Burch: *Nature* 122 729 (1928)

- (2) K. C. D. Hickman and C. R. Sanford : *Rev. Sci. Instr.* 1 140(1930); K. C. D. Hickman : *J. Franklin Inst.* 221, 383 (1936)
- (3) G. P. Brown : *Rev. Sci. Instr.* 16, 316 (1945)
- (4) D. Latham, B. D. Power, and N. T. M. Dennis : *Vacuum*, 2, 31 (1952)
- (5) 石井 博 : 真空工業 2 No. 8, 9 (1955)
- (6) 表 美守 : 真空化学 4 No. 2, 14 (1956)
- (7) 石井 博 : 応用物理 22, 69 (1953) ; 電試彙報 17 697 (1953)
- (8) D. Latham, B. D. Power, and N. T. M. Dennis : *Vacuum*, 1 97 (1951)
- (9) R. F. Coe and L. Riddiford : *J. Sci. Instr.* 32(207) (1955)
- (10) 小林、大武 : 真空技術 6 No. 2, 115 (1955) ; 小林 東芝レビュー 14 No. 5 16 (1959)
- (11) B. D. Power and D. J. Crawley : *Vacuum* 4 415 (1954) (1957年6月発行)
- (12) A. R. Huntress 4th Natl. Symp. on Vac. Tech. Trans., 104 (1957)
- (13) A. Herlet and G. Reich : *Z. angew. Phys.*, 9 14 (1957)
- (14) 石井 博、中山勝矢 : 真空 1, 222 (1958) , 2, 192 (1959)
- (15) E. S. Perry and W. H. Weber : *J. Am. Chem. Soc.* 71 3726(1949)
- (16) W. Simmler and W. Bächler : *Vacuum Tech.*, 8 H 6, 155(1959)
- (17) Verhoek and Marshall : *J. Am. Chem. Soc.* 61 2737(1939)
- (18) S. Dushman : Scientific Foundation of Vacuum Technique, John Wiley & Sons, Inc. New York (1949)
- (19) W. Espe : Werkstoffkunde ber Hoch Vakuum. Technik Bd. III, Hilfswerkstoffe, Veb Deutschen Verlag der Wissenschaften Berlin(1961)
- (20) 林 主税 : *J. Phys. Soc. Japan* 9 287 (1954)
- (21) 石井 博 : 電試彙報 17 830 (1953), 応用物理 22 263 (1953)
- (22) 石井 博、中山勝矢 : 真空 2 192 (1959)
- (23) N. A. Florescu : *Vacuum* 4 No. 1, 30(1954)
- (24) D. F. Wilcock ; G. E. Review No. 11, 46 (1946)
- (25) 米田 登、北川 公 : 真空技術 7 No. 1, 25 (1956)
- (26) 石井 博 : 真空技術 2 No. 3, (1951)
- (27) R. Jaeckel "Kleinste Drucke ihre Messung und Erzeugung" 176 (1950)
- (28) A. Lempiski and A. B. McFarlen : *Nature* 167 813 (1951)
- (29) B. B. Dayton : *Le Vide* 2 349 (1947)
- (30) K. C. D. Hickman : IOVST 2nd Internatl. Congr. A. V. S. 8th Natl. Vac. Symp. (1961) XV : 137

「真空」 研究論文、技術報告、寄書投稿規定

投稿希望者は葉書に次の事項を書いて本会研究部会宛申込んで下さい。折返し原稿用紙を送ります。

1. 氏名、所属
2. 研究論文、技術報告、寄書の別
3. 題 名
4. 内容の簡単なアブストラクト
5. 原稿の分量「枚数(400字詰原稿用紙)と図・表の数」
6. 口頭発表したもの或は関連テーマとして他学会誌に発表したものはその要項(発表機関、巻、号、年月日)

研究論文は研究部会で審査し、投稿者に採否、掲載予定等を通知します。