

2×700 kW 揚水ポンプ自動制御装置

On the Automatic Control of 2×700 kW Pump

技術部器具課 宮内 一 憲

I. ま え が き

ポンプの自動運転は古くから行われて居るが、揚水用排水用何れの場合でも、吸水面又は吐出面の昇降に反応する浮動開閉器により、単にポンプの起動停止を自動的に行うだけのことが多い。かかる場合制御装置として問題になるのは、呼水の方法、バルブの開閉等だけであつて、自動制御としては簡単なオンオフ式と見做されるものである。

今回北海道電力殿へ納入した揚水ポンプ用電気設備に於ては、ポンプの回転数、揚水量を自動制御するものでいささか目新しい試みであると思われるので、その概要を紹介する。

II. 設備の概要

本設備は北海道電力雨龍貯水池の下を流れる、朱鞠内川の水を、最大実揚程 35.5 米に於て雨龍貯水池へ揚水しその水量を増加し、有効落差 170~140 米の、雨龍発電所の発電力の増加を計らんとするものである。揚水ポンプ 2 台を設置し、朱鞠内川の流量に応じて揚水量を自動制御し、常に吸水池への流入量に相応した揚水を行うことにより、過剰揚水によるポンプの停止を防ぎ、ポンプ及び送水管路の氷結を防止しつつ流入量を有効に揚水せんとするのである。吸水池及び貯水池の標高は次の通りである。

貯水池最高水位	284 米
" 最低水位	273 米
吸水池正常水位	249 米
" 最低水位	248.5 米

下記仕様のポンプ及び駆動電動機を 2 台設置する。

揚水ポンプ (荏原製作所製)

型式	横軸 両吸込渦巻ポンプ
実揚程	35.5 米~24.5 米
総揚程	37.5 米~26.5 米
揚水量	0.5 米 ³ /秒~1.375 米 ³ /秒

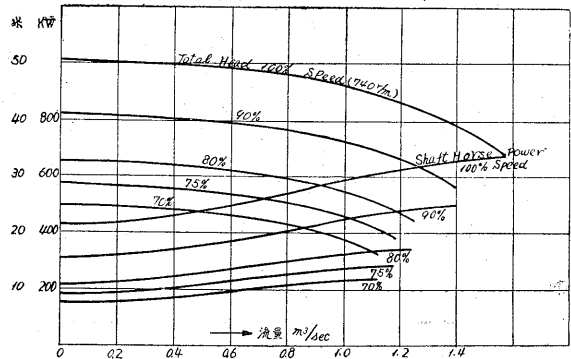
電動機 閉鎖巻線型誘導電動機

700 kW 3000 V 50~ 8P

自動制御用として、水位調整器、電圧調整器、速度制御器等を有している。

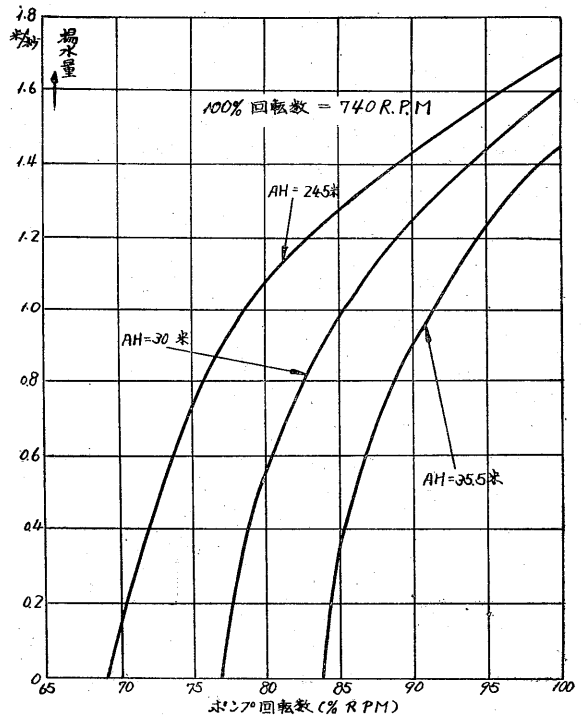
III. ポンプの特性と電動機制御

第 1 図は荏原製作所殿に於て、自家試験の結果より作製された、ポンプの特性曲線である。実揚程は 24.5 米



第 1 図 ポンプ特性

Fig. 1. Characteristic curve of pump



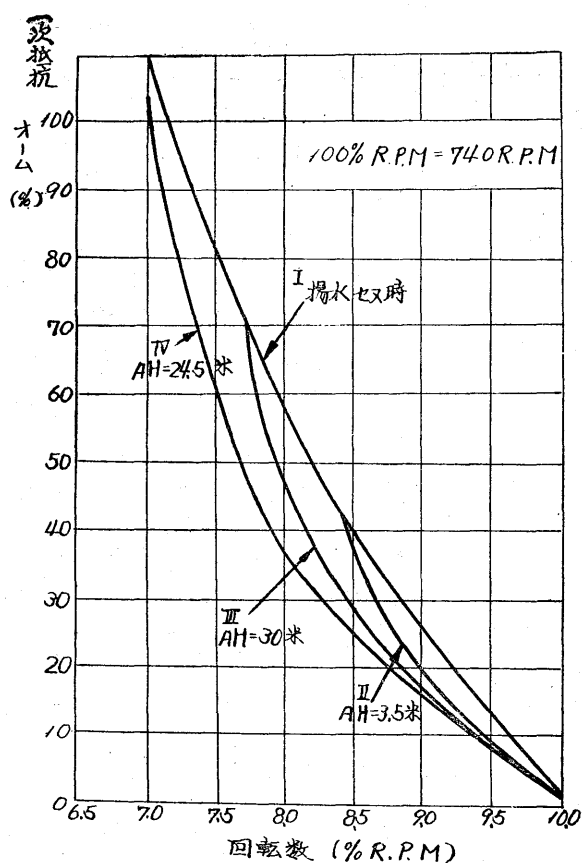
第 2 図 揚水量回転数特性

Fig. 2. Delivery-Speed curve

より 35.5 米の間で変化し、実揚程を一定として、回転数と揚水量の関係を、第1図より求めたのが第2図である。第2図によれば、所要の回転数制御範囲が実揚程に依って変化することが判然とする。即ち吸水池への流入量は季節により変化するが、最低は約 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ であり、従って揚水量の最低を $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ とすれば、回転数制御範囲は、実揚程 35.5 米の時は約 14% となり、実揚程 35.5 米の時は約 27% になる。又第2図より、各実揚程に於ける揚水可能な最低回転数を知ることが出来る。即ち実揚程 24.5 米では約 69% 回転数であるが、35.5 米では 84% 回転数になる。

自動制御に当っては、電動機の回転数制御範囲を、各実揚程に対して自動的に限定する必要が生ずるわけであるが、回転数に対する揚水量の変化は、揚水量が少なくなるに従って大になるので、揚水の中断を極力避けようとする場合には、あまり回転数制御範囲を広くすることは好ましくない。

第3図は電動機回転数と2次抵抗の関係を示すもので、図より明かな様に、所定の回転数を出す為の2次抵抗の値は、実揚程が高い程大となる。これは回転数が一定でも実揚程が



第3図 回転数電動機2次抵抗特性

Fig. 3. Secondary resistance-speed curve

高い程揚水量が減少し軸馬力が小となるからで、2次抵抗中の電圧降下により、速度制御を行うのであるから当然の事ではあるが、電動機速度制御器のノッチは、常に一定の回転数を代表するものではないという事は、自動制御の設計上留意すべき事である。

IV. 自動制御回路の概要

既述の如く本装置の目的は、吸水池への流入量に応じた揚水を行うことにあるが、自動制御としては水位制御の形になっている。即ち被制御量は水位であり、流入量の変動による水位の変化を、希望値に保持しようということになる。第4図は自動制御回路の簡略図である。

水位の検出は空気圧式水位調整器で行って居り、流入量と揚水量との平衡が破れ、例えば流入量が増加したとすると、水位が上昇し、水位調整器のカム C が上方に動く。カム C が或値丈移動すると、主幹スイッチ MR の接点 h_1 が閉じ、電磁接触点 MH が閉じ、駆動電動機 74 RM により電圧調整器 74 R が抵抗増加の方向に回転する。

電圧調整器の回転は、セルシン電動機 ST 及び SR により、水位調整器の主幹スイッチ駆動軸に伝えられ、主幹スイッチがカム C の動きに追従する。

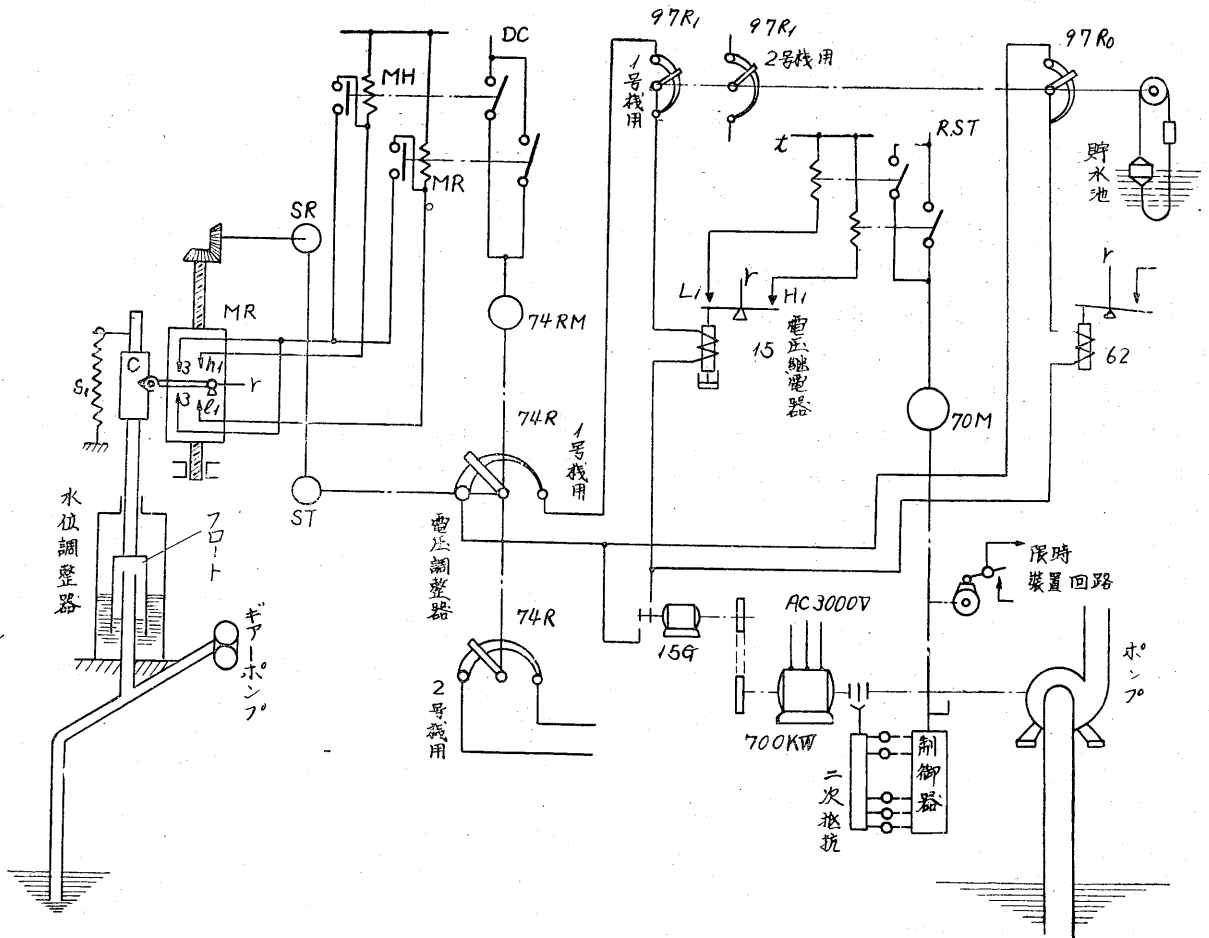
MH は MR の接点 3 を通して自己保持されて居るから、MR のカム C への追従動作により、接点 3 が開く迄は、MH は閉じて居る。接点 3 は h_1 より遅れて開く様になって居るから、電圧調整器は一定の寸動を行うことになる。

電圧調整器の抵抗 74 R は、電圧継電器 15 及び、貯水池に設けられたフロートにより駆動される抵抗 $97R_1$ と直列に結ばれて、タコメータダイナモ 15 G に接続されて居る。15 G の電圧はポンプ回転数に比例するもので、74 R の抵抗が増加すると、継電器 15 のバランスが破れ、接点 H_1 が閉じ、主電動機速度を上昇さす可く、制御器の駆動電動機 70 M が回転する。

制御器により主電動機2次抵抗が短絡されて行き、主電動機速度が上昇すると、これに従い 15 G の電圧も上昇し、継電器 15 は再びバランス状態に復帰して接点 H_1 を開く。

かくして、主電動機速度が上昇し、揚水量が増加し揚水量と流入量が平衡する迄、電動機速度制御が行われる。

$97R_1$ は貯水池の水位の上昇に従って、その抵抗が増加する様になって居り、第2図に就て説明した最低回転数を、実揚程に応じて決定する役目をなす。即ち継電器 15 に直列に挿入される抵抗は 74 R と $97R_1$ との和で



第4図 自動制御回路簡略図

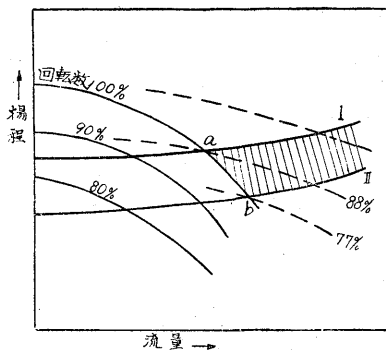
Fig. 4. Skelton diagram of automatic controlling circuit

あり、継電器 15 がバランスすべき、タコメータダイナモの電圧は、実揚程が高くなる程上昇するから、最低回転数が高くなる。

本装置の水位制御は、一定の変動率を有する所謂定位制御であり、電圧調整器のノッチ位置は、変動率内の水位に比例するが、97R₁の介在は、水位と揚水量の関係をも、実揚程に無関係な一定の比例関係に近づける(第

8図参照)。抵抗 97R₀も貯水池フロートにより駆動される。これは並列運転を単独運転に切替える時の回転数を選定するものである。第5図に単独運転(実線)及び並列運転(点線)の場合の揚程曲線と、最高実揚程及び最低実揚程の場合の所要総揚程曲線(I, II)を示す。所要の揚水量が減少し、並列運転より単独運転へ切替える場合の回転数を、単独運転時の100%回転数の揚程曲線上に乗る様に制御すれば、並列運転は斜線を施した範囲内だけで行われる事になり、最も能率のよい運転が出来る。

抵抗 97R₀は継電器 62と直列にタコメータダイナモに接続されて居り、継電器 62は並列運転中の1台のポンプを停止さす役目をする。即ち回転数が減じ15Gの電圧が降下すると、継電器の吸引力が不足して、その接点を閉じるのであるが、抵抗 97R₀は実揚程が大になるに従って増加するから、継電器 62の接点が閉じるべき15Gの電圧、従ってポンプの回転数は、実揚程と共に上昇し、上述の如き切替特性を満足さす。第4図に於ては、2号機の回路を省略したが、1号機と殆ど同一である。実際の接続はこの外種々の要素が加わって、相当復



第5図 並列単独切替の説明図
Fig. 5. Explanation for changeover of parallel and single running

雑したものになる。

V. 制御装置の特性

流入量と揚水量のバランスが破れた場合の、水位の変動速度は、相当緩慢なものであることは、容易に想像される。流入量と揚水量の差が ΔQ (m³/s) なるときの水位の変動速度は、吸水池の面積を A (m²) とすれば $\Delta Q/A$ (m/s) となる。設計に当って吸水池の容積 16,000 m³、平均水深 1 m なる資料を得たが、この値によると $A=16,000$ m² となり、例えば $\Delta Q=1$ m³/s の時の水位変動平均速度は 0.0375 m/min となる。無論この資料は、単なるオーダー決定用のもので正確なものではない。筆者の目測によると変動速度は上記の単純な計算で得た値の、4~5 倍であったが、本装置の如き自動制御の設計に際しては、この程度の資料が得られれば、先ず充分である。

さてこの様に制御される量即ち水位の変動速度は、自動電圧制御の如き場合に比して、極めて緩慢なものである。従って制御装置全体もこの制御される量の性質に相当した緩動型となる。貯水池の水位変動は更にゆるやかなもので、大きな変化は季節的なものである。電動機速度制御は、電動操作カム型制御器によって行われ速度制御用ノッチを 22 有する。1ノッチ毎の回転数の変化は、第3図より明かな如く、実揚程によって変ってくるが、何れの場合でも電圧継電器 15 の感度に適合した値でない、制御器と電動機間に乱調が生起する恐れがある。無論この乱調は制御系全体の乱調を直ちに誘起するものではないが、700 kW の電動機及びポンプが不必要な速度制御を繰返される事は避けなければならない。本装置では、電圧継電器の感度は $\pm 1\%$ に整定されて居り、これに対して制御器のノッチ毎の速度変化は各速度に於て、その値の約 1.5% になる様に設計されて居る。

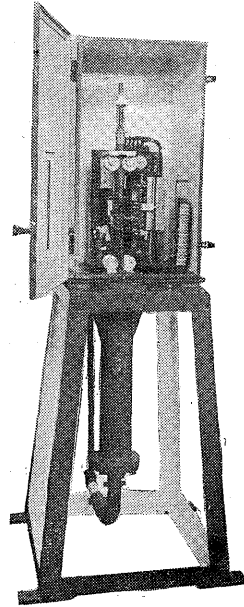
尚、制御器が1ノッチ動く度に限時継電器が作動して、次のノッチ送り迄に時間を持たせる様にしてあるから、ポンプ及び電動機の GD² による遅れの影響が防止されて居る。

水位調整器は第6図、第7図に示されるもので、空気圧フロートと、主幹スキッチより成っている。液体には水銀を使用してある。

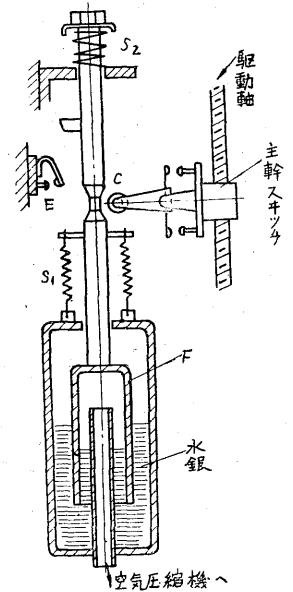
浮動部の重量とスプリング S₁ による発条力との和が空気圧と水銀の浮力との和に反抗し、水位の変化とフロートの動きは比例する。この比例常数を K とすると

$$K = \frac{A}{k+B}$$

なる関係が成立する。ここで A, B はフロート及びピタシクの寸法と、水銀の比重とにより定まる常数であり、 k はスプリング S₁ の特性である。 k の値は 0.5 になっ

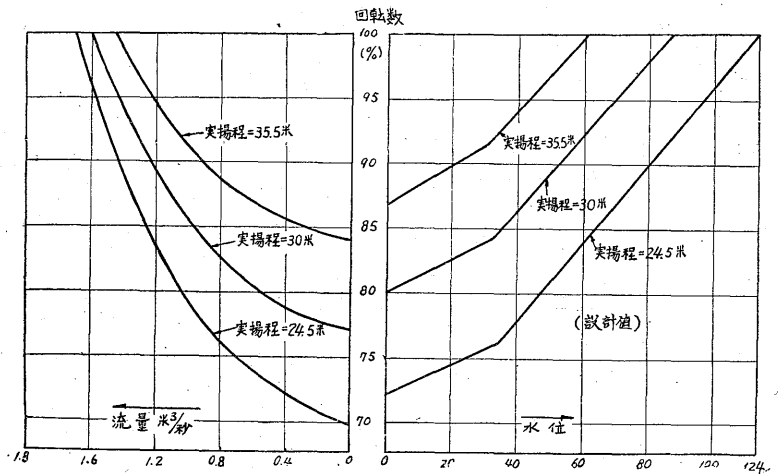


第6図 水位調整器
Fig. 6. Water level governor



第7図 水位調整器説明図
Fig. 7. Schematic drawing of level governor

て居り、水位が 10 cm 変化すればフロートは 5 cm 動くのである。上式より明かな様にスプリングの特性を変



第8図 水位—揚水量特性

Fig. 8. Water level-deliver curve

えれば K の値は任意に変えられる。

フロートの動きに電圧調整器が追従する形になって居り、電圧調整器の全調整範囲が、フロートの動き 10 cm に対応する様になって居る。この 10 cm という数値は構造上の問題で決められるが、この値に対する K の値

は水位制御としての、変動率を決定する。

主幹スキッチの接点 h_1 又は l_1 が閉じる位置と、接点3が開く位置の間の、電圧調整器の動きは、制御器を1ノッチ動かす丈の値にしてある。

第8図は水位と回転数の関係及び回転数と揚水量の関係を一括したもので、水位は電圧調整器のノッチ番号で表示してある。図より明かな様に、水位制御としての変動率は、実揚程により変化するが、24.5 m の時丁度 20 cm になる。

VI. 運転操作及び保護装置

自動制御を行う場合には先ず空気圧縮機のギアポンプを起動し、水位調整器のフロートを浮上させる。又何れのポンプを先行さすべきかを選定して置く。

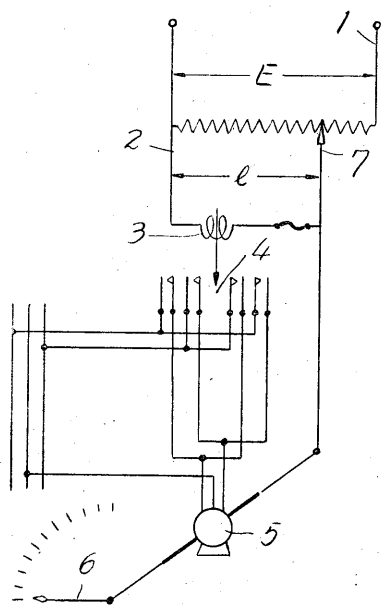
水位が電圧調整器のノッチ124に相当する値になると電圧調整器に設けられた起動用スキッチが動作して、プライミング用真空ポンプが起動する。プライミング完了

により、ケーシングフロートスキッチが動作して、遮断器を投入する。

遮断器が投入されると、制御器が自動的に2次抵抗を短絡して、主電動機は加速され、電圧継電器の接点 H_1 が開く迄速度が上昇する。先行機が全速運転を行っても揚水量が不足する時は、水位が先行機起動条件の値より更に上昇し、後続機が並列運転にはいる。

運転の停止は急停止と緩停止があり、後者の場合は2次抵抗が挿入され速度が降下した後、遮断器を開く。無電圧、過電流、等の一般の電動機保護は当然なされて居るが、ポンプの保護装置に特に考慮が払われている。即ち運転中の揚水不能に際しては、ケーシング内の温度上昇をとらえポンプを停止さす。又シーリングウォーターの断水には流水継電器を具える。吸水位の異常低下の際には、水位調整器に取付けられたスキッチE(第7図参照)が動作し、ホンプを急停止さす。(終)

拡大指示装置 (新案登録第 38354 号)



電気量の変化を小型メーターでなく動力を使って大型指示機で表示される事がある。此の考案は其の様な目的に添う様考案されたものであります。

図で (1) は電気量の変化が電圧 (E) の変化として与えられる端子でありまして、此の値が変化すると補助回路 (2) の電圧 (l) が変化します。従って応動装置 (3) が動作して開閉器 (4) を作動させます。之によって電動機 (5) は電圧を得て回転し大型指針 (6) を回転させます。同時に針 (6) と同軸の摺動子 (7) も移動し、又夫に伴って電圧 (l) が変化し元の (l) の値を得ると応動装置 (3) が復帰し、開閉器を開放して電動機従って針を停止させます。此の場合電圧の変化量と針の移動量は比例し又電動機大きさを適宜選定してどんな大きな指針でも動かす事が出来ます。

尙、図面は原理だけを示したもので回転軸と指針又は摺動子との連絡は歯車装置を使って精密に組立られるのは勿論であります。(技術部 池上)

[168(16)より続く] この場合抑制線輪を設ける事により確実に其の中の一個を撰択動作させる事が出来る。

第1図程度の回路では本発明の効果もさほどでは無いが、第3図の多角形接続に於ては其の真価を發揮す

る。逆に今迄理論的には其の優秀性の認められる多角形接続が本発明により始めて実施可能の域に達したものであり此の原理を応用した当社製品に御期待願いたい。(技術部 池上記)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。