

●特集・高気圧治療装置の現況と将来 第2種装置設計の進歩と将来

森 幸夫*

高気圧治療装置は、古くより再圧治療タンクとして減圧症治療に用いられて来たが¹⁾、臨床及び研究各分野への適応の多様化に伴い、装置の構造・機能と安全性に対する要求がより高度なものへと変遷した。この要求に対応するために、第2種装置の設計上で問題点となったうちの数点につき、その解決のために行った工夫と改良に併せて、装置の将来について若干の展望を報告する。

高圧室本体の構造

日常治療を行う場としての高圧室本体の構造・機能と操作性の良否が、円滑な治療の実施に与える影響は大である。

高圧室内への出入口扉は一般に矩形の内開き式扉（ヒンジ式）が用いられているが²⁾、扉の開閉により高圧室内の限られた空間に大きなデッドスペースを生じる。なお、扉を外開きとすれば耐圧気密構造とするためにその構造が複雑となり、操作も煩雑となる。

図1は高圧室の平面で、斜線を施した部分は、扉の開閉により生じる床面上のデッドスペースを示す。④は内開き式扉で、ヒンジを中心に扇形のデッドスペースが生じる。⑤は回転式扉（スイング式）で、デッドスペースは内開き式の1/2以下(44%)であるが扉が室内側に突出するため、機器のレイアウトに制約を与える。また重い扉を複雑に動かす事は不合理である。⑥は引戸式扉（スライド式）で、デッドスペースは内開き式の1/3(34%)であり、扉を戸袋に納めることにより室内空間が整然として壁面を含めた貴重なスペースを有効に

利用できる。さらに扉位置を偏芯して設けることにより、⑥に示すごとくストレッチャーの移動がスムーズに行える。

また、内開き式扉では扉枠（コーミング）が床面上に突出して段差が生じるため、ストレッチャーを移動する際にスロープ板のセットが必要であるが、引戸式扉では床面に段差が生じないため、患者にショックを与えることなく極めてスムーズに収容できる。なお、従来は扉の開閉は手動により行っていたが³⁾、ワンタッチレバーの操作による自動開閉により操作性の改良も行った。

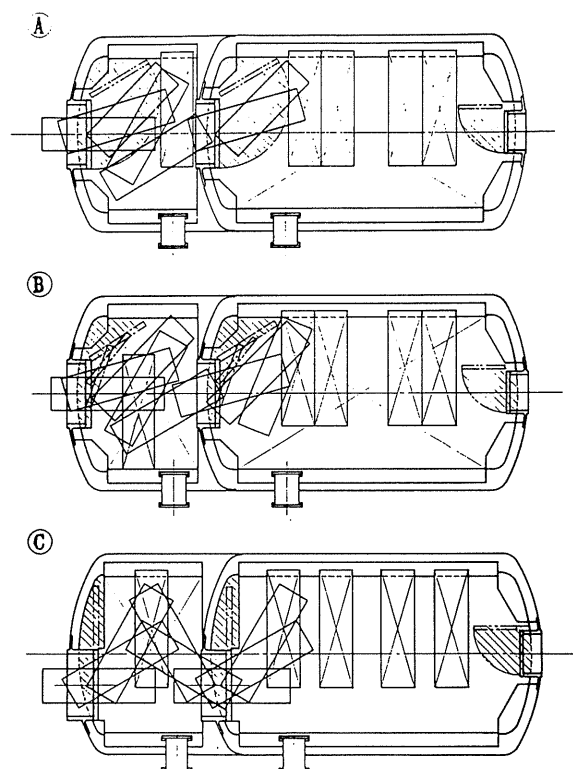


図1

*株式会社羽生田鉄工所技術部

表1 プロセス制御用計器の精度 (例)

区分	アナログ式 ^{*1}	デジタル式	備考
指示設定	±0.5%	0 ^{*2}	
指示調節計	入力	±0.1% ^{*3}	測定値
	出力	±0.3% ^{*3}	操作出力値
演算器	加減	±0.5%	0 ^{*4}
	乗除	±0.5%	0 ^{*4}

*1 計器単体の精度を示し、読み取りの際の誤差を含まない。

*2 CRT キー操作による。

*3 CRT 画面表示による。(A/D または D/A 変換に伴う誤差)

*4 算術演算機能による。

加圧中における高圧室内外での物品授受のためのメディカルロックは、蓋板を開く際にロック内を周囲圧力に均圧する操作が必要である。この均圧には、従来は、独立した2系統のバルブ操作により行われていたが、操作の煩雑さと誤操作による危険性が潜在するので、均圧のための三方弁のハンドルとロックレバーを関連づけることにより、ワンタッチによる均圧操作と蓋板開放時の誤操作防止が可能となった⁴⁾。

高圧室内の観察用と照明用の耐圧窓には一般に円形または小判形の強化ガラス板が用いられている。このガラス板は圧力容器構造規格により、耐圧強度は10倍の安全率を見込んで設計され、日本工業規格 (JIS-F2410) 合格品が用いられており、通常の使用では安全性が保障されている⁵⁾。しかし物品の飛来・落下などの、限界を越えた衝撃により破壊し、高圧室内圧力の急速減圧事故発生の危険性が残る。この危険性に対する安全対策としてガラス板を高圧室内外より取付けて二重にすることにより安全性は向上したが取付構造が複雑になった⁶⁾。強化ガラス板を2枚合わせ、中間膜として樹脂フィルムを用い、加熱・真空処理を行った合わせガラス板を用いることにより同じ効果が期待できる。安全性の確認のために重さ165 g の先端鋭利な金属片を、ガラス面上45 cm より落下させて破壊試験を行うとガラス板の破壊は衝撃を与えた側のみに生じ、中間膜により反対側には波及せず、破片は粒状でかつ飛散しないことが確認された。

表2

高圧室内の炭酸ガス分圧演算式



$$PCO_2 = (P_1 + 1.033) \cdot \frac{A}{100}$$

PCO₂ : 炭酸ガス分圧 (kg/cm²)

P₁ : 高圧室内圧力 (kg/cm²G)

A : 炭酸ガス濃度 (Vol%)

アナログ式演算器の誤差推算式

区分	演算式	ブロック線図	誤差推算式 ^{*1}
加算	C = K ₁ A + K ₂ B		$C = \sqrt{(K_1a + K_2b)^2 + e^2}$
乗算	C = KAB		$C = \sqrt{(KAb)^2 + (KBa)^2 + e^2}$

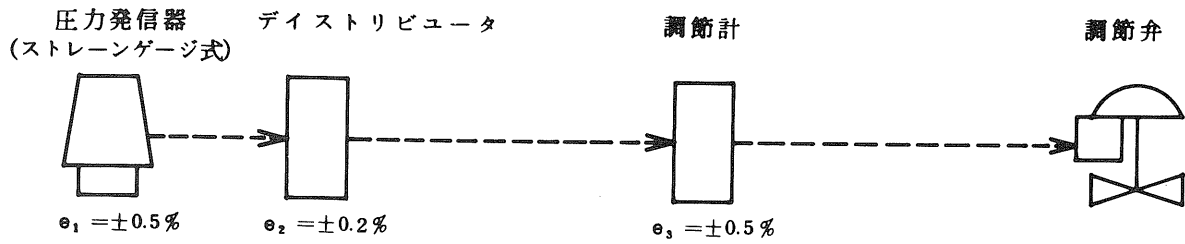
*1 横河北辰電機(株) TI-07B1-01による。

高圧室内の環境制御

第2種装置の高圧室内環境条件の計測制御としては、一般的に圧力、温度、相対湿度、換気流量の計測・制御と、酸素及び炭酸ガス濃度の計測が行われている²⁾。従来は、この計測・制御にアナログ式の計器が用いられていたが、より安全で良好な治療環境をとるという要求に伴い、下記の問題点が生じた。①設定及び読み取り誤差が大きく、かつ個人差も生じる。②制御及び演算精度が低くドリフトがある。③高度な制御機能を備えるためには構成が複雑となり、分解能からも適応の限界がある。④緊急事態に対する安全対策に複雑な処理を要し、対応に限界がある。表1にプロセス制御用計器の精度を例示する。アナログ式計器の値は、計器単体固有の精度を示し、実際は、目盛板に対する目視角度による読み取りまたは設定誤差と、微妙な個人差が加わる。デジタル式では、キー操作による設定とCRT画面の数字表示の読み取りにより、設定及び読み取り誤差を無視できる。図2は圧力制御ループの総合精度推算値を示す。デジタル式の精度は、静電容量式圧力発信器3台を併用することにより、アナログ式の約1/2.5 (誤差の絶対値では1/2.5~1/10) にできた。表2は大気圧下で分析した炭酸ガス濃度を分圧に換算するための計算式と、アナログ式演算器の誤差推算式を示す⁷⁾。

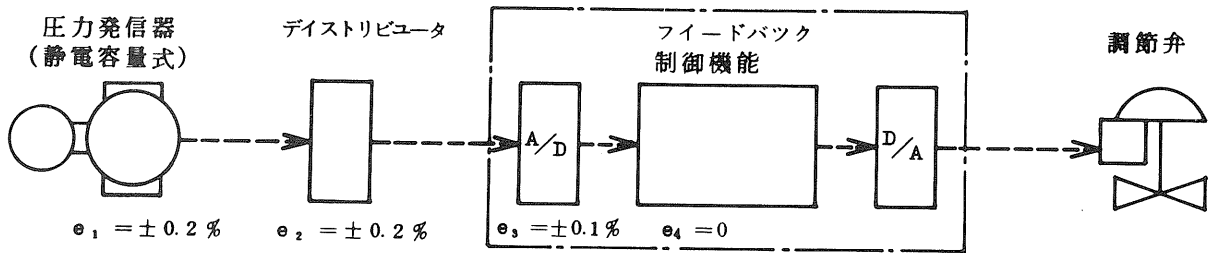
表に示すごとく、乗算の場合は誤差が拡大されるが、デジタル式では算術演算機能により演算

① アナログ式



$$\text{ループ総合精度 } e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2} = \pm 0.735\%$$

② アナログ・デジタル併用式



$$\text{ループ総合精度 } e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + e_4^2} = \pm 0.3\%$$

図2 圧力制御系ループ総合精度 (推算値)

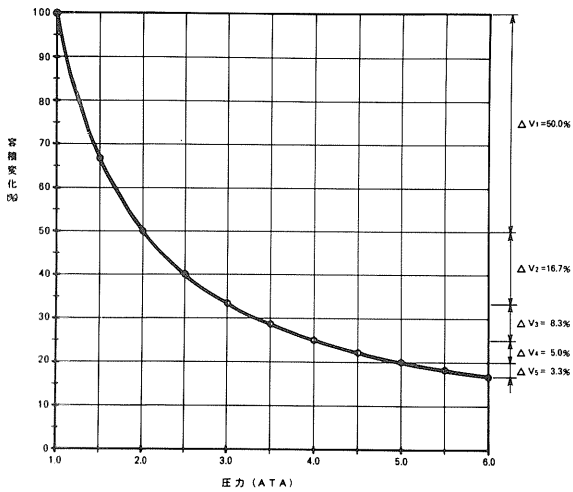


図3 圧力変化に伴う気体の容積変化 (温度一定とする)

誤差を無視でき、A/D 変換誤差のみを考慮すればよい。

圧力上昇に伴う気体の容積変化は図3に示すように、大気圧付近において大きく変化し、この容積変化が気圧障害として人体に大きな影響を及ぼす。図4は高圧室内圧力を自動制御にて昇圧した時のプログラム設定値と圧力測定値を同時記録したものである。①は通常のフィードバック制御を

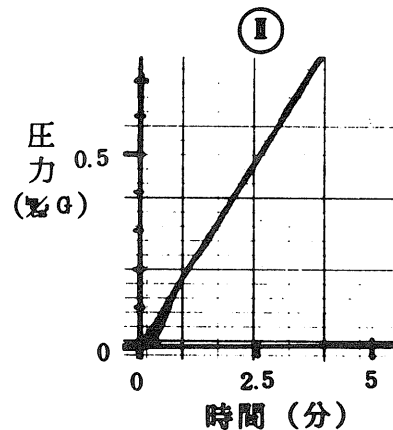
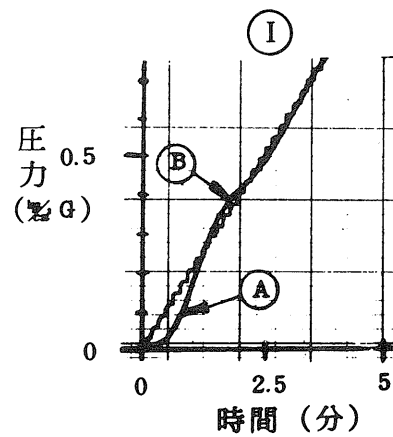


図4 プログラムスタート時の圧力変化

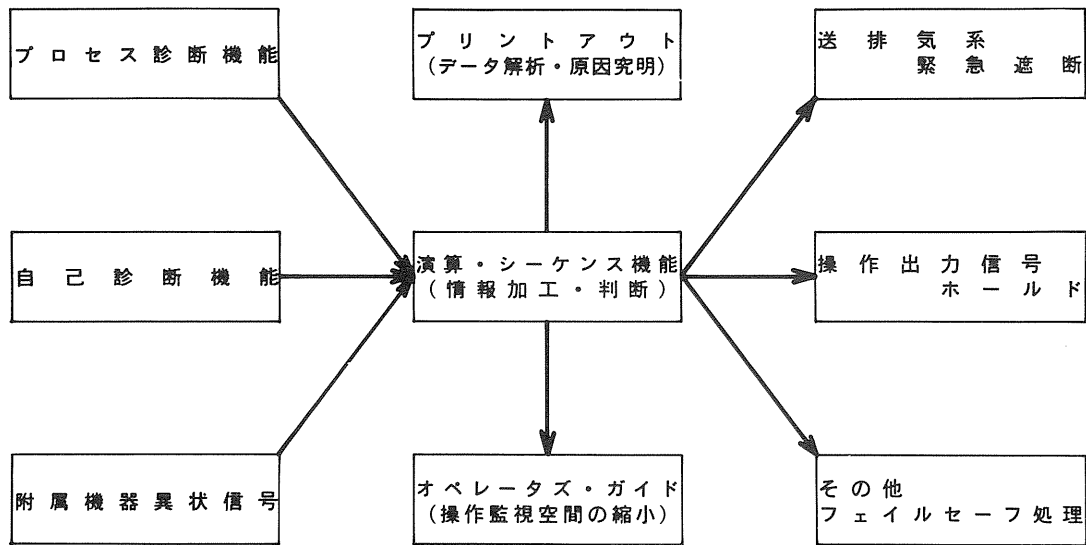


図5 環境制御システム保安機能フロー

行ったもので、④部の制御遅れと⑩部のオーバーシュートが治療の障害となる。⑪はデジタル式で、スタート時に操作出力信号処理を行ったもので、スムーズな自動昇圧が可能となった。

図5にデジタル式環境制御システムの保安機能フローを示す。プロセス診断・自己診断情報と附属機器異常信号情報を加工し、かつ重要度を判断し保安処理を行うと共に、オペレータズ・ガイドメッセージによる操作監視の省力化と、プリントデータによる原因の究明が容易である。

以上のごとく前記の問題点は、デジタル式(マイクロプロセッサによる)パッケージ計装制御システムの採用により解消し、併せて装置の機能と信頼性が著しく向上した。

第2種装置の将来

救命救急的適応の延長として、高気圧下での集中治療、すなわち高気圧 ICU として重症患者の長期収容に伴う構造・機能の具備と併せて、安全対策面より高圧室内専用機器の開発に対する要求が予測される。

また、高気圧下での本格的なリハビリテーションや出産なども検討される時期が訪れると思われる。

結 語

引戸式扉は、日本高気圧環境医学会名誉会員齊藤春雄先生の御考案を実用化し³⁾⁸⁾、改良したもので、機構的な制約により、大型装置に採用し好評を得ているが、中型装置の扉構造についても既製品の改造を含めて改良を検討中である。

本装置の開発、システム全般の改良、安全対策につき長年にわたり御指導戴きました高気圧環境医学ならびに安全工学の先生方に衷心より感謝いたします。

〔参 考 文 献〕

- 1) 齊藤春雄ほか：高圧酸素及び高圧療法，日本医事新報，2208：31-44，1966.
- 2) 榎原欣作ほか：琉球大学保健学部附属病院に新営された高気圧治療装置について，医科器械学雑誌，44-3：140-148，1974.
- 3) 森幸夫：高圧酸素治療装置の開発，実務展望，3-6：3-8，1969.
- 4) 実用新案公報：昭51-14239
- 5) 圧力容器構造規格：昭和45年4月1日労働省告示第23号，第69条2.
- 6) 駒宮功額，田中隆二：高気圧治療設備実態調査報告書，産業安全研究所技術資料，RIIS-TN-70-1，1-29，1970.
- 7) 横河北辰電機(株)：技術資料，TI-07B1-01.
- 8) 実用新案公報：昭49-23667.