

JAERI - M
93-025

原子力施設における室内気圧の
維持機構とその周辺設備

1993年2月

松本 初夫

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1993

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 いばらき印刷(株)

原子力施設における室内気圧の維持機構とその周辺設備

日本原子力研究所東海研究所建設部

松本 初夫

(1993年1月25日受理)

原子力施設において施設内及び周辺環境に対して、施設内で取扱う放射性物質等による汚染の拡大防止（汚染の閉込め）を図ることは、施設の安全維持に重要な位置を占めるものである。

その汚染拡大の主因のひとつである「放射性物質が気流に乗って飛散拡大事象」を防止する主要な方法として、当該箇所と周辺環境とに「気圧差」を設けて気圧の壁（気流方向を規制する）により汚染物質を閉込める方法がある。

この方法による場合の気圧差は一般的に「微圧」であり、その気圧差により「汚染度の高い箇所や、汚染の可能性が高い区域」を、その周辺より低い気圧（以降は「負圧」と述べる）にして、当該箇所における放射性物質が気流によって外部周辺に飛散しないように気流方向を規制するものであり、ほとんどの原子力施設において用いられている。

この負圧の維持方法は、現在においても我国で初めての原子炉施設である「日本原子力研究所、研究用1号炉（JRR-1）」の負圧維持機構を基本的に踏襲したものである。

しかし、この従来からの負圧維持機構について原子力施設の置かれている諸般の現状を踏まえてこの機構を見直した結果、従来方式では現在の諸条件に十分対応できないところが見いだされた。

そのため、この度従来方式の欠点を大きく補う対応ができる負圧維持機能をもつ機構を開発、確立したので、ここにその紹介をおこなう。

さらに、その負圧維持機構を構成する主要設備の概要と、機構の設計、保守管理時の留意点をを本書により解説するものである。

System for Keeping Atmospheric Pressure in Nuclear
Facility and Its Peripheral Equipments

Hatsuo MATSUMOTO

Department of Construction
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 25, 1993)

The design to keep radioactive materials in the facility and not to make them spread inside the facility and into the environments is an essential issue in the construction of nuclear facilities.

One reason of the contamination is due to the diffusion with air flow, therefore, negative pressure for the ambients has been utilized to keep gaseous radioactivities inside the facility of interest.

The pressure difference is not so large, though, the atmospheric pressure level of the contaminated and possibly contaminated areas are always kept to be lower than those of the ambient one to prevent the dissemination of radioactivity from the defined area.

The technique using negative pressure, at present, is employed widely in nuclear facilities, and the basic system is the same as that of JRR-1 built as the first nuclear facility in Japan.

In the present work, the conventional system with negative pressure was reexamined on the state-of-art of the regulations for the nuclear facilities, and consequently some shortages of the system has been found.

Thus, an advanced system with an excellent performance keeping the negative pressure has been developed to cover the shortage.

In this report, the new system is introduced with a couple of comments, acquired from the author's experience, to the design and the maintenance of the composite equipments of the system.

Keywords: Mechanism of the control system for the constant ventilation value and negative pressure, Air Flow, Contamination, Conventional System, JRR-1, Nuclear Facilities, Design and Maintenance, Technique using Negative Pressure

目 次

1. 序 論	1
2. 負圧維持	2
2.1 負圧維持の目的と対応	2
2.1.1 負圧度の設定	3
2.1.2 負圧維持をおこなう気体廃棄物廃棄施設と換気空調設備	5
2.1.3 負圧維持の方法	5
2.2 気体廃棄施設と換気空調設備の基本条件	8
3. 従来の負圧維持機構	10
3.1 従来の気体廃棄施設および換気空調設備の概要	10
3.1.1 第1種換気方式	10
3.1.2 第3種換気方式	11
3.2 従来の負圧維持機構	11
3.3 負圧度の変動要因	12
3.4 従来の負圧維持機構の考察	14
4. 定排気量負圧制御機構	30
4.1 定排気量負圧制御機構の概要	31
4.1.1 従来設備機構の相違と効果	32
4.1.2 機能向上の理由	34
4.2 定排気量負圧制御機構と従来機構との比較表	38
5. 負圧維持機構の関連設備	40
5.1 設備機器の採用に当たっての留意事項	41
5.2 設備機器	43
5.2.1 給気系統	43
5.2.2 排気系統	59
5.3 負圧維持機構の関連設備の纏め	65
6. あとがき	68

Contents

1. Introduction	1
2. Keeping Negative Pressure System	2
2.1 The Purpose of Negative Pressure System	2
2.1.1 Setting of the Negative Pressure	3
2.1.2 Exhaust Equipment for the Waste Gas and Ventilation, Air-conditioning Equipment for the Negative Pressure System	5
2.1.3 Method to Keep the Negative Pressure	5
2.2 Basic Condition of the Exhaust Equipment for the Waste Gas and Ventilation, Air-conditioning Equipment	8
3. Conventional Negative Pressure System	10
3.1 Outline of the Conventional Exhaust Equipment for the Waste Gas and Ventilation, Air-conditioning Equipment ..	10
3.1.1 No-1 Class Ventilation System	10
3.1.2 No-3 Class Ventilation System	11
3.2 Conventional System for the Negative Pressure	11
3.3 Factors of the Pressure Change	12
3.4 Discussion on the Conventional System to Keep the Negative Pressure	14
4. Mechanism of the Control System for the Constant Ventilation Value and Negative Pressure	30
4.1 Outline of the Control System for the Constant Ventilation Value and Negative Pressure System	31
4.1.1 Comparison with the Conventional Control	32
4.1.2 Reason of the Improvement of the Function	34
4.2 Comparison between the Constant Ventilation Value and Negative Pressure System and the Conventional System	38
5. Related Equipment for the Negative Pressure System	40
5.1 Notable Points for the Machinery	41
5.2 Machinery of the Equipment	43
5.2.1 Air Feeding System	43
5.2.2 Air Exhaust System	59
5.3 Summary of the Negative Pressure System	65
6. Conclusion	68

1. 序 論

現在、原子力関連施設は官・学・民間の各機関に存在し、その範囲は発電用原子炉、核燃料再処理、核燃料濃縮等の大規模施設から研究用原子炉、核燃料使用施設さらには放射性物質使用施設等の中、小規模施設に渡り多種多様な施設が設置されている。

この原子力関連施設における安全確保は最も重要な課題であり、その内のひとつである核燃料物質を含めての放射性物質による「汚染の拡大防止」は施設の安全保証上、特に重要であるため「発電用軽水型原子炉施設」においては、原子力安全委員会の決定（平成2年8月30日付）による「安全機能の重要度分類に関する審査指針」での異常影響緩和系の最上位（MS-1）に区分されている。

施設内に放射性物質（核燃料物質、RI等）及び放射線発生装置（密封RI、X線発生装置、陽子・電子加速器等）を保有する施設では、その放射線発生源より周辺に対し放射能及び放射線による汚染拡大を防止するために「放射能」については密封封入のほか『負圧』による閉込め機構、また「放射線」については各種の遮蔽施設が設けられる。

そのうち本論は、放射能による施設外及び施設内への汚染の拡大防止（汚染の閉込め）を目的とする『負圧維持機構』について述べるものである。

原子力施設における負圧維持の目的は、汚染物質が気流により周辺環境に拡大することを防止するもので、半導体製造工場等における「陽圧維持（原子力施設と異なり「正圧」とは言わない）」とは逆の目的のものである。

負圧の程度は、当該箇所の汚染度（汚染重要度）により段階的に設定され施設により多い場合は6～7段階の気圧差を設けている。

この負圧維持の基本機構は、昭和32年8月27日に臨界に達した原研東海研究所のJRR-1（米国、ANN社製）、における施設の設計仕様に準拠したものである。

従来の我国における原子力施設の負圧維持機構は、特に問題が表面化することが少なかったこともあり発電用原子炉施設を含めてほとんどの施設が基本的に「JRR-1」と同じ機構を踏襲している。

しかし近年、我国においては原子力施設の多様化が進み核燃料再処理施設等の使用済核燃料取扱施設が建設され、プルトニウムを含む放射性物質による汚染拡大防止が、諸外国における事故等により、より重要視されてきた。

そのため今まで見過ごされてきた従来の負圧維持機構の見直しを行ない機構の改良を計った結果、さらに良好な機能をもつ『定排気量負圧制御機構』を開発した。

この基本機構は、大洗研究所に昭和47年に建設した炭化Pu燃料の研究施設である「燃料研究棟」に採用し、その後に東海研究所の「JRR-3、使用済核燃料保管棟」等に段階的、部分的に採用した後、現在施工中の「燃料サイクル安全工学研究施設（NUCFB）」においては、さらに改良を行い機構の確立を得たものである。

2. 負圧維持

2.1 負圧維持の目的と対応

核燃料物質（U系、Pu系）と放射性同位元素(RI)の取扱施設は、原子炉施設、再処理施設、加工施設、使用施設等が該当するほかに各種の加速器施設や核融合プラズマ発生施設においても、発生する放射線強度と線種により周辺機器の放射化や空気（空気分子や浮遊塵埃）の放射化により放射性物質が発生する。

そのため殆どの原子力施設は、放射性物質が気流の拡散事象によって発生する汚染の拡大防止を図るために、施設周辺外気に対して施設全体の負圧維持を行うほか、「炉室、セル、グローブボックス、その他容器等」の個々の室、機器に対して施設内における汚染拡大防止のために段階的な負圧の維持を行う必要がある。

そのほか、負圧維持の変形として「実験用フード」については、前面窓部の開口部における気流の風速が規定されている。

このように「負圧維持」の最大目的は、吸引や付着事象による人体汚染（体内外共）の可能性が最も高い、気流により発生する汚染の拡大を防止するものである。

この負圧の程度（負圧度）は、放射性物質が周辺気流に乗り移動（拡散）することを阻止するための気流の方向、流速の程度を示す目安として表現するものである。

一般には、気流速度が0.3m/s以上であれば対流、乱流さらには汚染物質粒子のブラウン運動による逆流現象は発生しにくいといわれている。

ちなみに定常的な空気状態下であれば圧力差、2 mmAq(約0.0002kg^f/cm²)が存在する場合に、その値がすべて流速に変換されれば、約5.7m/sの流速になるが、開口部の形状抵抗や風量不足等により流速は大幅に低減する。

しかし、その程度を事前に把握することは一般的には不可能である。

それは開口部（隙間を含む）を持つ扉、窓、蓋さらには建屋軀対等における開口部の設定が困難であるほかに当該箇所破損、破壊等による開口状態の想定が不可能なためである。

このように負圧度の設定は、施設の破損、破壊を含む全ての事象における開口部の設定が難しいため、便宜的に気流の逆流事象が発生しないと考えられる気圧差を施設の使用目的、構造等により余裕をみて維持すべき「気圧差（負圧度）」として定めているものである。

負圧度は、内包する放射性物質の核種、量及び建屋、セル、容器等の構造により適切に定めるものであるが、1 mmAq以下の差圧（負圧度）設定は、気流の流速確保や、制御の安定上から望ましくない。

また施設内の区域、室、装置毎に負圧度を段階的に設定する場合においては、各負圧度の維持範

囲毎に、1mmAq以上の中間帯を必ず設け、制御誤差等により各々の負圧度が逆転したり、同一の負圧度にならないようにする。

2.1.1 負圧度の設定

施設内における負圧度の設定は、前述のごとく隙間を含む開口部での気流の流速確保を目的とするためであり施設の使用目的、構造等により種々の条件によりその値は異なるが、既設の類似施設の設定値を参考とすることは大いに必要なことである。

また負圧度の設定は、その施設の「通常運転時」と「異常な過渡変化時（商用電源喪失時、機器類の単一故障時、若しくは誤動作または運転員の単一誤動作によって外乱が加えられた状態）」ならびに「事故時（過渡変化時を超える異常状態）」のそれぞれの時点により異なる値を採用する方法が得策である。

それは、事故時等の異常時に対応するための負圧度で負圧設定をおこなうと、施設の外部環境に対しての汚染の閉込めを最優先するため、施設内での従事者への汚染防止が疎かになり、さりとて全ての時点における対応を図る全能的な設備の設計を行うことは不可能に近く、その設備は経済的なものでもない。

そのため負圧度の設定については、施設の安全解析等を十分理解し、関連部署との協議、協調を計り、合理的に検討を行う必要がある。

参考として次表に東海研究所の「燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）」の各時点における負圧度の設定を示す。

表-1 通常運転時における各室の負圧度（大気圧基準）

区分	室の用途	負圧度(mmAq)	当該主要室名
I	溶液燃料(Pu, U溶液)を大量に内蔵する機器を設置している室	12~15	炉室(S), (T), 燃料取扱室等
II	溶液燃料を少量(1g以下)取扱う実験室	8~10	燃料取扱付属室 廃液貯蔵室等
III	支援設備室, 通路	4~6	排気機械室, 極低レベル廃液貯蔵室, 試薬供給室 セル操作室, 廊下
IV	放射線管理区域の出入り口	0~2	エアロック室, 更衣室

注) 本表は放射線管理区域内の各室を対象とする。

商用電源喪失時（地震に伴う停電を含む）等の「異状な過渡変化時（以降は「過渡変化時」と述べる）」においては、限定された動力に対して非常用電源（EG、バッテリー）より電力が供給される。

そのため各室の負圧度の維持は最重要箇所のみを行い、その他の室は負圧維持を止めて非常電源容量を軽減させるものであるが、室内にグローブボックス等の機器を設置している場合は、機器等の負圧維持が継続しているため、当該室内は微負圧となり、その機器に向かっての室内における気流は微弱であるが継続する。

しかし、非常電源により排気系の運転を行う必要のない機器等のみを設置している室や機器等が全く設置していない室（汚染の可能性が最も低い箇所）については、負圧は維持されない。

また、火災時、汚染時等の「事故時」においては負圧維持を継続するか、当該室または装置の閉鎖を行うかは、施設管理者等の総合的な判断に委ねられる。

表-2 過渡変化時、事故時における各室の負圧度（大気圧基準）

区分	室の用途	負圧度(mmAq)	当該主要室名
I	溶液燃料(Pu, U溶液)を大量に内蔵する機器を設置している室	微負圧	炉室(S), (T), 燃料取扱室
II	溶液燃料を少量(1g以下)取扱う実験室	機器に向かっ ての気流	燃料取扱付属室 廃液貯蔵室等
III	支援設備室, 通路 管理区域の出入り口	なし	排気機械室, 極低レベル廃 液貯蔵室, 試薬供給室 セル操作室, 廊下 エアロック室, 更衣室

表-3 機器等の負圧度（機器周辺気圧基準）

区分	機器名称	負圧度(mmAq)	設定状態
I	溶液燃料貯槽, 高レベル廃液貯槽	50~70	通常時, 過渡変化時, 事故時共
II	グローブボックス	20~30	通常時, 過渡変化時共（一部は 事故時にも通常時の負圧維持 その他は閉鎖密封）
III	セル	15~30	通常時, 過渡変化時共 事故時はセルを閉鎖密封
IV	炉室フード	5~10	通常時, 過渡変化時共 事故時はフードを閉鎖密封
V	実験用フード	窓半開時の風速 0.5m/s以上	通常時, 過渡変化時共 事故時はフードを閉鎖

2.1.2 負圧維持をおこなう気体廃棄物廃棄施設と換気空調設備

「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以降は「原子炉等規制法」と述べる）」における原子炉施設での「気体廃棄物廃棄施設（以降は「気体廃棄施設」と述べる）」と「換気空調設備」の位置付けは、それぞれ異なるが（但し「核燃料物質の使用施設」においては「気体廃棄施設」に換排気系の設備を含む）、負圧維持に関しては共通の働きをする設備である。

気体廃棄施設は、施設の通常運転時においても放射能汚染が存在する装置、機器等を対象に設置されるが、換気空調設備は、通常時における汚染が無い区画、室等を主な対象として設置される。

しかし汚染発生時における汚染の拡大防止を計る対応は全く同じであり、共に負圧維持を行い汚染空気、ガス等の閉込めを行うものである。

なお「気体廃棄施設」は特定の装置、機器等を対象として負圧維持、発熱除去、発生ガス除去等を目的として設置するため、施設全域を対象とする換気空調設備に比べて処理風量は大幅に少ないほか、有意義な給気設備（排気風量に対応する給気を送風機等で送る設備）を持たず系統の殆どが排気又は吸引設備により構成されるもので、各々の設備内容を要約すると以下のとおりである。

1) 気体廃棄施設

施設の通常運転時において気体の廃棄を行う対象の装置、機器等に放射性物質が存在し、廃棄を行う気体が放射能汚染しているか、汚染の可能性が高い排気の処理、処分を行う設備をいうもので「原子炉等規制法」に定められている。

- (1) 放射性物質を内包する装置及び容器等からの、ベント系設備。
- (2) 放射性物質をエアシューター等で移動させるための、真空装置の排気設備。
- (3) その他の特殊な排気設備。

2) 換気空調設備

主に、施設内における従事者の環境保全を目的とし、室内空気の温湿度調整及び換気を行うための設備であり、一般には空気調和機と送風機を有する給気系統と、汚染発生時における汚染排気の処理装置や排風機等を有する排気系統により構成される設備であり、同じく「原子炉等規制法」により定められている。

なお換気空調設備には、原子炉施設における「主要実験設備」である実験用フード、グローブボックス、セル等の通常時においても汚染の可能性を有する装置の排気系統を含む場合があるが本来は上記の「気体廃棄施設」に含まれるものであり、換気空調設備の目的からは外れるものである。

2.1.3 負圧維持の方法

気体廃棄施設と換気空調設備における負圧維持の目的は同じであるが前述、3.1.2で示すように両設備の系統構成は大きく異なる。一般には換気空調設備における負圧維持が困難であり設備も大型で複雑なものとなる場合が多い。

その主な理由は、装置、容器等の廃棄空気又はガスを排出するための排気系統が主体の気体廃棄施設と、施設全域の種々な各室を対象とするために排気系統の他に給気系統を合わせもち、系統も多岐にわたる換気空調設備とでは設備構成、内容、規模等において異なるものである。しかし、両設備とも空気又はガスを対象とする「換気設備」であり、その換気方式は次のように区分され表現される。

表-4 換気方式の区分と設備例

区 分	方 式	設 備 例
第1種換気方式	給気、排気共に機械（送、排風機等）により換気する方式	本格的な換気空調設備
第2種換気方式	給気を機械（送風機等）で行い排気は成り行きとする換気方式	クリーンルーム等の換気設備
第3種換気方式	排気を機械（排風機等）で行い給気は成り行きとする換気方式	工場、浴場、厨房等の換気設備

負圧を達成する原理は、第1、3種換気方式における排風機等の吸引圧力であり、その圧力は施設又は装置等に外部からの空気等の流入が無ければ排風機等の締切り運転時における全圧（この場合は全静圧）が負圧となる。

しかし建屋等の施設においては、外部からの空気の流入を皆無にすることは構造的にも、使用上からも無理、無意味である。

また気密性が良い装置、容器等についても、除熱や内部の汚染低減のため換気を行いながら、負圧を維持する場合が一般的である。

原子力施設における換気空調設備は、「第1種換気方式」を採用することが多く、施設内の温湿度調整及び新鮮外気の導入を計るための給気系統を設け、空気調和機等により外気を適切に処理して送風機等により施設内に給気をおこなう系統と、負圧維持及び施設内の換気をおこなうほかに、汚染空気の浄化処理装置をもち、排風機を有する排気系統により設備が構成される。

これに対し装置、容器等のベント系を含む気体廃棄施設は、一般的に排気系統の排風機又は真空ポンプ等により装置、容器等の内部空気、ガスを吸入して外部に排気する「3種換気方式」を採用することが多い。

その際の装置、容器等への置換空気は、周辺の空気を吸引して内部に取り入れるもので給気系統（外気取入れ部）の主な機器としては「取入れ空気の濾過用フィルターおよび遮断弁」のみで設備が構成される。

この場合の換気に要するエネルギーは全て排風機、真空ポンプ等が行うものであり、第1種換気方式での換気空調設備とは対応が異なる。

以上、述べた換気方式の違いによる夫々の設備系統の内部圧力（気圧）分布を図-1及び図-2に示す。

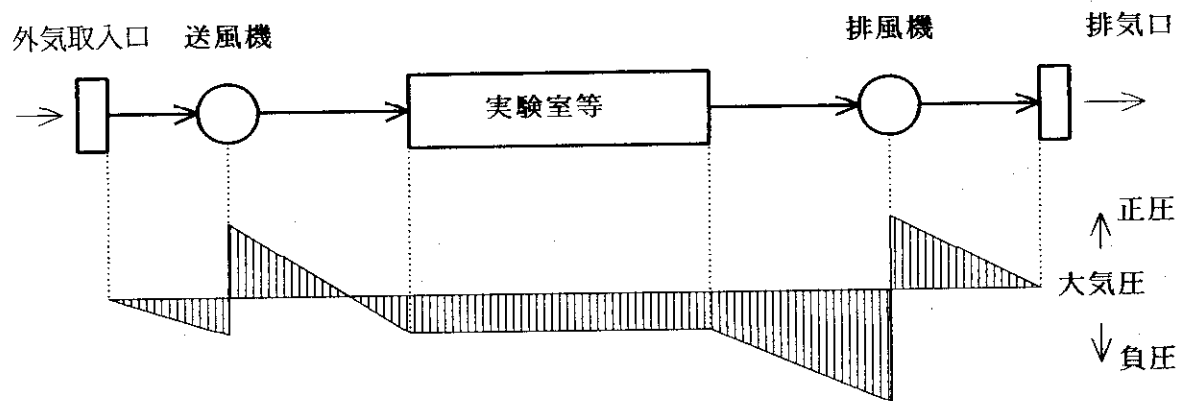


図-1 第1種換気方式での系統内部圧力（気圧）分布図

注記

1. 上記図は「実験室等」を負圧に維持する換気方式である。
2. 換気は全外気供給方式（once through）とし再循環は行わない。
3. 換気系統の内部圧力は外気取入口、排気口では大気圧となるものとした。
4. 系統の各設備機器は基本的なものとした。
5. 各機器、実験室等を接続するラインは風道管（ダクト）とする。
6. 圧力分布図において給気系統では給気ダクトの途中からダクト内部圧力が正圧より負圧に逆転する。
7. 室内圧力は原則として均等圧力となる。

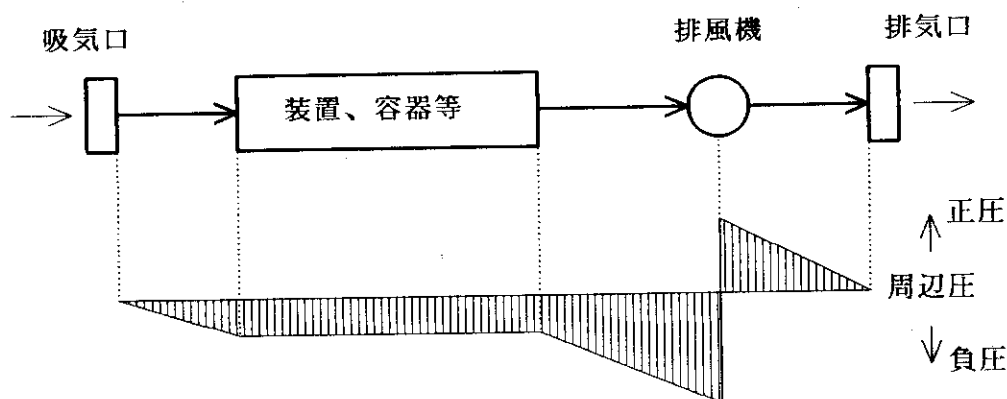


図-2 第3種換気方式での系統内部圧力（気圧）分布図

注記

1. 上記図は「装置、容器等」を負圧に維持するための換気方式である。

2. 換気は全外気供給方式 (once through) とし再循環は行わない。
3. 換気系統の内部圧力は吸気口では周辺圧とし、排気口においては大気圧と周辺圧が等しいものとした。
4. 系統の各設備機器は基本的なものとした。
5. 各機器を接続するラインは風道管 (ダクト) とする。

上記の系統内部圧力分布図は、各換気方式での圧力 (気圧) の変化状態を単純化して図示したものである。

ここで各分布図の違いは、第1種換気方式における送風機の前後の圧力分布が第3種換気方式にないだけである。

しかし、この違いが第1種換気方式を多用する換気空調設備の負圧維持の制御を難しくしている、その原因、理由等については後述する。

さらに、ここで注意したいのは第1種換気方式の給気系統における圧力変化である、一般施設での空調方式では、室内の気圧は正圧 (陽圧) であるため室内に設けられる給気口 (空気吹出口) における吹出し空気は自身の圧力 (エネルギー) で吹出すが、原子力施設のように室内を負圧に維持している場合の給気は、室内の負圧によって給気風道内の空気が吸引される状態のため、給気口より排気口に向かって、顕著な短絡気流が発生しやすく給気口での空気の拡散は大幅に制約される。

このため負圧維持を行う施設における室内での気流分布を向上させるには、給気口の構造よりも、給排気口の配置、を十分に考慮すべきである。

2.2 気体廃棄施設と換気空調設備の基本条件

原子力施設における気体廃棄施設と換気空調設備の、なすべき共通な基本条件 (役割) は、今まで述べてきた「負圧維持」のほかにも次に述べる種々の条件をもつ。

この条件は、施設、区域、室、装置、機器毎にそれぞれ程度が異なるものが殆どであるが全ての条項を満たす必要がある。

1) 負圧度の維持

施設内の区域、室、装置等の負圧度を重要度、により段階的に安定して維持できること。

2) 排気の浄化

換気を行うことにより生ずる排気については、施設の外部環境への放射性物質の放出を十分に低減できる適切な能力をもつこと。

3) 換気量の維持

換気量については施設内外への放射能汚染物質の拡散の度合い、に多大の影響を与える。特に排気風量については「環境評価算定」による数値を常に安定した状態で一定に維持できること。

4) 導入外気の浄化

施設、装置等への導入外気は、空気中に含まれる塵埃、塩分粒子等をできる限り除去した清浄空気を用いる。これは施設内の放射線により空気中の粒子が二次放射化現象をおこす危険を低減させるほか、粒子に含まれるラドントロン等の自然放射能による放射線測定誤差を小さくするためである。

また外気の浄化は塩分粒子により発生する腐食等の劣化防止及び電子機器の誤動作防止にも大きく寄与するものである。

5) 温、湿度環境の維持

換気空調設備においては、施設内における従事者や装置等にたいして適切な温、湿度状態が維持できるものとする。

6) その他の付帯条件

原子力施設を構成する設備として必要な強度、耐久性、信頼性がある他に設備としての保守管理が容易であることも必要な条件である。

ここで注意したいのは、「3) 換気量の維持」である、他の条件は施設等の位置付けにより条件の程度は変わるものであるが、換気量特に「排気量」については、施設、装置の位置付け等の別なく、常に一定風量を安定して保持しなければならない。

3. 従来の負圧維持機構

原子力施設の負圧維持機構は前述、「1.序論」でのごとく日本原子力研究所、JRR-1の時代から現在に至るまで機構的には殆ど変わっていない。

もちろん時代とともに機構を構成する機器や部品等は飛躍的に性能や耐久性が向上したものが現在は用いられているが……

そこで本項において従来の負圧維持技術の概要と、その問題点を述べる。

3.1 従来の気体廃棄施設および換気空調設備の概要

負圧を発生させる原理については前述、「3.1.3 負圧維持の方法」で述べたごとく必ず「排風機（設備によっては、真空ポンプ等）」を用いて行うものであり、他に換気方式により第1種換気方式の場合は、「送風機」を付帯している。

この他に実設備として必要なものを原子力施設として一般的に採用している全外気供給方式（空気が循環をしない方法、once through）における空気の流れの上流から主なものを示す。

3.1.1 第1種換気方式

本方式は、施設内の室を対象にする「換気空調設備」に用いることが多い方式であるため設備を構成する機器が多く、その設備配置も施設全域にわたる。

1) 給気系統

- (1) 外気取入口
- (2) 外気除塵用フィルター
- (3) 外気除塩用フィルター
- (4) 空気調和器（冷却器、加熱器、加湿器を含む）
- (5) 送風機
- (6) 吹出風量調整用ダンパー
- (7) 各室空気吹出口

2) 排気系統

- (1) 各室排気口
- (2) 各室負圧調整用ダンパー
- (3) 排気除塵用高性能（HEPA）フィルター
- (4) 排風機
- (5) 主排気口（排気筒）

3.1.2 第3種換気方式

本方式は、主に施設内に設置する装置等を対象とする「気体廃棄施設」での採用が多い方式であり、換気空調設備と異なり限定された設備配置となり設備の構成機器も少ないのが普通である。

1) 給気（吸気）系統

- (1) 給気口
- (2) 給気除塵用フィルター
- (3) 給気風量調整兼遮断用ダンパー
- (4) 給気吹出口

2) 排気系統

- (1) 各箇所排気口
- (2) 各箇所負圧調整兼遮断用ダンパー
- (3) 排気除塵用高性能フィルター（ガス吸着フィルターを用いることもある）
- (4) 排風機（又は真空ポンプ）
- (5) 主排気口（排気筒）

なお第1, 3種換気方式の機器等は、すべて換気のための空気を移送するラインに接するものであり、他に自動制御、計測設備や電源設備等の付帯設備が設けられる。

また空気の移送には、ダクト（風道管）を用い各機室や室を接続する。

3.2 従来の負圧維持機構

いままで述べてきたように負圧を達成する原理は排風機の吸引圧力であるが、これにより発生した負圧度は前述、「3.1」に示す設備の運転状態が、すべて当初設定した状態に変化がなく、かつまた負圧度を維持すべき対象室、機器等の機密度（外部空気の流入度）にも変動が生じなければ永久にその負圧度は一定値を維持している。

このような状態はまったく非現実的なことであり、そのため各換気方式には負圧維持機構を設けて機能の安定化をはかっている。

従来の負圧維持機構は、ほとんどの場合に排気系統に負圧調整用の自動ダンパーを設けて、対象箇所の微差圧発信器（室または機器内気圧と大気または周辺気圧との差圧を検知する）からの信号によりダンパーを作動させて排気風量を調整することにより負圧度の維持を図るものである。

負圧調整用ダンパーの設置位置は、排気系統のうち各室、機器の排気口の下流部または排風機の上、下流部のどちらかと状況により位置は一定ではない。

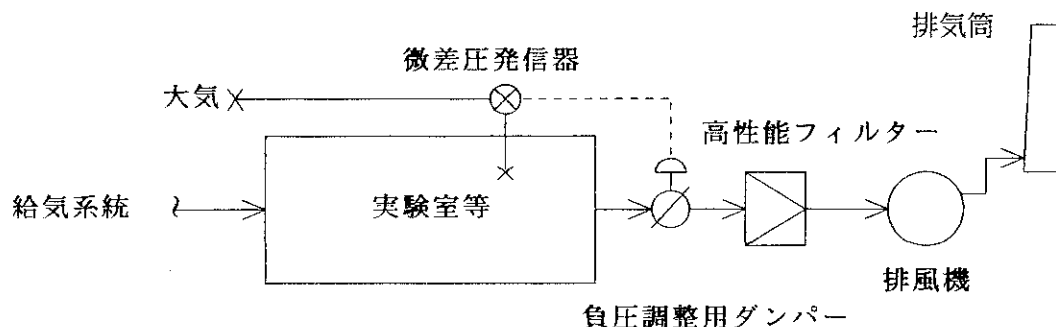


図-3 従来の負圧維持機構概要図

上記の概要図は、第1, 3種換気方式ともに同じ負圧維持機構をもちいているもので従来の設備では一般的なものである。

機構の作動は、比例、微分および微分積分方式が多く、信号伝送方式は空気圧、電子方式がほとんどである。

また、一つの排気系統で複数の室等を対象に排気する場合は、室毎に負圧調整機構を設けるものと、代表室（一般には最も負圧度の高い室）に一組の機構を設けて他室の負圧度は成行きにまかせて他室の気流方向が代表室に向かっているならばよし、とする簡略した設備も存在する。

3.3 負圧度の変動要因

当初、設定した負圧度は種々の原因で変動する、この事象は気体廃棄施設及び換気空調設備の「系統内」での原因により発生するものと「系統外」での原因により起こるものとがある。

通常運転時に発生するものとしては、系統内では給気、排気系統に設置している「フィルター類」の目詰りが原因となるものが主なものであり変動は徐々に発生することが多い。

系統外では、扉等の開閉によるものが主因でありこの事象は、大幅な気圧変動を伴い急激に発生するため負圧維持における最も大きい問題となる。

以下に各事象における負圧度の変動要因を示す。

1. 通常運転時

1) 系統内での変動要因と原因

(1) 給気系統

- a. 外気除塵フィルター、の目詰り。（塵埃のほか雨水等により発生する）
- b. 外気除塩フィルター、の目詰り。（濾材に付着した塩分粒子が、空気中の湿気により溶解（潮解現象、と言う）して急激な目詰り現象を発生することもある。）
- c. 空気調和器内の冷却器フィンに過大な凝縮水の付着（目詰り現象）

(2) 排気系統

- a. 排気除塵用フィルター類、の目詰り。

- b. 排気ガス吸着フィルター、の目詰り。

2) 系統外での変動要因と原因

(1) 施設外

- a. 大気圧の変動（台風時の低気圧によっては約1000mmAqも気圧低下が発生する）
- b. 強風時の風向き（外気取り入れ口、主排気口等への風圧が影響する）

(2) 施設内

- a. 室の扉、シャッター等の開閉
- b. 室内での温度変化
- c. 室内、装置内でのガス等の発生
- d. 室内での他設備（実験用フード等）の運転
- e. 他室での負圧度の変動
- f. 他系統の負圧維持機構の作動（同一の給、排気ダクトより分岐して系統区分している場合は、他系統の負圧維持機構の作動に伴いダクトにおける風量、風圧の変動による影響が特に強く発生する）

2. 過渡変化時（人為的要因を除いたもの）

1) 系統内での変動要因と原因

(1) 給気系統

- a. 給気口ガラリの閉鎖（風によりビニールシート等の飛来物がガラリに付着）
- b. 吹出風量調整用ダンパーの誤動作（制御機構の誤動作、破損及びダンパー本体の劣化、破損）
- c. 空気調和器内の冷却、加熱コイルの目詰り等（コイルファインの劣化、破損）
- d. 送風機の誤動作（動力源の作動不良、ベルト切れ等の動力伝達機構の劣化、破損および送風機本体の劣化、破損）
- e. ダクト等の給気移送機構の破損（ダクト等に腐食などにより開口が生ずることにより、風量風圧が変動する）

(2) 排気系統

- a. 各室排気口ガラリの閉鎖（室内のシート等の飛来物がガラリに付着）
- b. 負圧調整用ダンパーの誤動作（制御機構の誤動作、破損及びダンパー本体の劣化、破損）
- c. 排風機の誤動作（同上）
- e. ダクト等の排気移送機構の破損（同上）

2) 系統外での変動要因と原因

原子力施設における主な「過渡変化事象」は「地震」および「電源の喪失」があるほか、

さらに冷却水の供給停止等がある。さらに火災、爆発および放射能汚染等の「事故事象」が考えられるが、この事象は施設全体にかかる問題であるため本論での対象から除外するものとする。

このように、負圧度の変動要因は種々のものが数多く発生することが考えられる。

また、この事象は単一的な発生ばかりでなく数種類の要因により複合変動が同時に拡大、増幅して起こることも有り得るため負圧度の維持は、なおさら難しいものとなる。

しかし、どのような変動が発生しても、「許、認可申請」に記載の条件は守らなければならない。とくに換気風量及び排気風量の変動はあってはならない。

このような条件のもとに現在の負圧維持機構は十分に対応が可能であったのか、あらためて反省し、不十分な内容であれば今後は早急に改める必要がある。

そのためにも著者が開発した「定排気量負圧制御機構」を後述するので各位の検討の参考にして頂きたい。

3.4 従来の負圧維持機構の考察

前述、「3.3の負圧度の変動要因」に示す種々の条件に従来の負圧維持機構は十分な対応ができていないのか、不十分なものはどのような影響があるのか検討を行う。

無論、この機構は、米国をはじめ各国のほとんどの原子力施設が採用しており半世紀の歴史をもつものであるが、現在まで著者が調査したかぎりでは機構の見直し、改良等の文献は皆無である。

しかし、その後に発達した半導体産業での「陽圧維持機構」については、その開発、改良が活発であり設備機器の開発も含めて大幅な進展がみられる。

そもそも、ミクロ的な作業が大勢をしめる半導体産業は室内の空気中の塵埃度により製品のできが左右されるものであるが、この空気管理は原子力施設のために開発された「高性能(HBPA)フィルター」の流用と「負圧維持機構」の転用によるところが大であるが、その後の両者の進展は格段の違いが見られる。

では以下に前述、「3.3」の要因に従い従来機構の対応と影響を示す。

表-5 通常運転時における系統内での変動による対応

変 動 要 因	維持機構の対応	影響の内容	影響の度合
1.外気除塵用フィルターの目詰り	自動対応不可能	給気風量の低下により換気量の減少	徐々に起こるため監視により阻止できる
2.外気除塩用フィルターの目詰り ※	自動対応不可能	給気風量の低下により換気量の減少	潮解現象は瞬時に起るため影響は大
3.凝縮水のコイルへの付着 ※	自動対応不可能	給気風量の低下により換気量の減少	外気の湿度が特に高い時に発生するが気流により短時間で飛散する
4.排気除塵用フィルターの目詰り	許容範囲であれば 自動的対応可能	許容範囲であれば 影響なし	負圧調整用ダンパーの制御可能範囲を越えると負圧度低下 換気量、排気量共に低下
5.排気ガス吸着フィルターの目詰まり	同 上	同 上	同 上

表-6 通常運転時における系統外での変動による対応

変 動 要 因	維持機構の対応	影響の内容	影響の度合
1.大気圧の変動 ※	大気圧基準での負圧維持であれば自動的に追従可能	問題はない	影響なし
2.強風時の風向き ※	風圧に対しての自動的対応不十分	負圧維持は可能であるが換気風量の変動(増、減)が発生	負圧度の変動は殆ど発生しない
3.室の扉、シャッター等の開閉	自動的対応は殆ど可能	負圧維持は殆ど可能であるが換気風量の変動(増、減)が発生	扉等の開放状態により負圧度低下
4.室内での温度変化	自動的対応可能	問題はない	影響なし
5.室内、装置内でのガスの発生	急激で大量の発生でなければ自動的対応は可能	問題はない	殆ど影響なし
6.室内での他設備の運転 ※	設定の範囲内であれば自動的対応は可能	問題はない	殆ど影響なし
7.他室での負圧度の変動	互いに扉等を開放しなければ自動的対応は可能	問題はない	殆ど影響なし
8.他系統の負圧維持機構の作動	同一の換気系統では制御機構が混乱し誤動作が発生しやすい	制御機構の混乱のため負圧度が安定して維持されない	影響は大きい

表-7 過渡変化時における系統内での変動による対応

変動要因	維持機構の対応	影響の内容	影響の度合
1. 給気口ガラリの閉鎖	<u>閉鎖の程度により自動制御不可能</u>	<u>閉鎖の程度により負圧度超過換気風量の低下</u>	影響は大きい
2. 吹出風量調整用の誤動作	不可能	<u>負圧度, 換気風量共に変動</u>	影響は大きい
3. 空気調和器内の冷却, 加熱コイルの目詰り等 ※	可能	換気風量の低下	殆ど影響はない
4. 送風機の誤動作 ※	<u>故障の程度により負圧度の維持不可能</u>	<u>軸受の磨耗, ベルト切れ等の故障の殆どは風量の低下となる</u>	影響は大きい
5. ダクト等の給気移送機構の破損	破損の程度により負圧度の維持不可能	換気風量の低下	大幅な破損がなければ殆ど影響はない
6. 各室排気口ガラリの閉鎖	<u>閉鎖の程度により自動制御不可能</u>	<u>閉鎖の程度により負圧度低下</u>	影響は大きい
7. 負圧調整用ダンパーの誤動作	不可能	<u>負圧度, 換気風量共に変動</u>	影響は大きい
8. 排風機の誤動作	<u>故障の程度により負圧度の維持不可能</u>	<u>軸受けの磨耗, ベルト切れ等の故障の殆どは負圧度, 換気風量の低下</u>	影響は大きい
9. ダクト等の排気移送機構の破損	破損の程度により負圧度の維持不可能	換気風量の低下	大幅な破損がなければ殆ど影響はない

- 注) 1. 「変動要因」欄中の※項は第1種換気方式のみで発生するもの。
 2. 本表では、負圧度変動の影響度の大きい事項を「下線」により表示している。
 3. 「影響の度合」で影響度合が小さい場合は「影響なし」と表現した。
 4. 「排気ガス吸着フィルター」は、活性炭フィルターを用いるものとする。
 5. 「変動要因」欄中の室は「装置, 機器」をも包括する。

以上の、表-5.6.7で示すように(表中のアンダーライン箇所)、従来の負圧維持機構としては、全ての「変動要因」に対応できるものではない。

むしろ、表中であげた問題事項が実設備として直ちに支障をきたすものばかりでは無く、施設の種別、重要度により影響の度合は異なってくるほか、負圧維持機構の保守、管理によっても対応できるものも多い。

なお数十年の歴史をもつ従来施設において大きな放射能汚染拡大事故の発生が少なかったことは、ある程度は保守、管理担当者の努力が大きいと考えられる。

しかし、近年においては原子力施設の多様化、高度化がすすみ我国でも、実用的な「核燃料再処理施設」の建設が計画され、毒性が高く半減期の長いプルトニウム等の超ウラン(TRU)元素の取扱いがますます増えてくると考えられる。

さらに人体への放射線被曝量の規制値についても国際放射線防護委員会(ICRP)の勧告値が最近さらに、低減化する傾向を考えると、過去に事故等の発生が少ないからと従来の負圧維持機構でよしとするものではない。

また、原子力施設といえども、より安全性を向上させたうえに、あわせて省力化を進め従事者の削減を行い、管理費の低減化を計らなければならない。

そのためにも従来の負圧維持機構を見直し、従来機構での対応欠如面を補完していた保守、管理部門の人員低減化を計る必要がある。

そこで本項では、表中の問題事項をそれぞれ考察し各位の理解と今後の対応に役立てていただきたい。

1) 通常運転時における系統内での問題

(1) 外気除塩用フィルターの目詰り

我国における原子力施設の殆ど、とくに発電施設は臨海地区に設置するものが多く、外気中に含まれる「塩分粒子」は最多時に約 250万個/ℓ、通常時に約10万個/ℓ(茨城県東海村: 著者の調査値)であり内陸部(海岸線より12km以上)と比べ数十倍も多い。

そのため施設内に取り入れる外気は、以前から水洗浄(噴霧水中に空気を通過させ洗浄処理する)を行い、塩分、塵埃等を除去していたが除去効率が低く、処理水の管理が難しいほか、導入空気に含まれる水滴、水分の除去が困難であるため近年は、乾式ユニット型フィルターを用いることが多い。

そのため本項での考察は、このフィルターを用いた場合を対象として行う。

a. 目詰り、の原因

除塩用の乾式ユニット型フィルターは水洗浄方式に比べ除去効率も高く、取扱いも容易であり処理済空気の問題もないため最近では電子工業施設、通信施設、OA化ビル(インテリジェントビル)等の導入外気処理として多用されている。

フィルターの構造は、布袋状のメディアをもつ「バグ型」と、濾紙をひだ折りした「カセット型」の二種類があり、ともに濾過面積を大きくして単位面積当たりの塩分付着量が少なく

なるように作られている。

しかし乾燥状態では粒子状でメディアに付着している塩分粒子が導入空気の湿度が高まるにつれ溶解（潮解）し、溶液膜をつくりメディアを閉塞させてしまう。この現象は温、湿度が高く、海水温も高い夏期、とくに台風時（低気圧で海水蒸発が促進され、強風で水滴が運ばれる）に発生しやすい。

そのためメディアが閉塞されることにより導入外気量は瞬時に大幅に低減する。

b. 維持機構の対応と影響

除塩フィルターの閉塞にともない給気風量は大幅に現象する、従来設備は定風量を確保する機構を保持していない設備がほとんどであり風量の低下に対応できない状態にある。

そのため負圧維持は確保されても給気風量にあわせて排気風量も低下するので換気風量が減少する事象が発生する。

この状態は「許、認可申請書」に示す施設の通常運転状態を逸脱して「過渡変化状態」に至っているもので早急な処置を必要とするものである。

さらに換気風量の低下は施設内外の従事者、施設周辺の地域住民の環境保全におおきく影響を与えるばかりではなく、施設内の装置、機器等にも悪影響を与える。

(2) 排気除塵用フィルターの目詰り（排気ガス吸着フィルターを含む）

原子力施設からの排気は、殆どの施設で「高性能(HEPA)フィルター」を含む排気浄化装置を用いて処理を行ったのちに「排気筒」より外気に排出している。

一般的に浄化装置のフィルター構成は「高性能フィルター」の他に前置用として「粗フィルター」の二種類で構成されるが施設、装置によってはガス処理用として「活性炭およびシルバークゼオライト(銀触媒)フィルター」を用いるばあいもある。

a. 目詰りの原因

施設内の各室、装置等からの排気には放射性物質や放射性物質を含む塵埃およびガスが含まれる。

そのため、排気浄化装置には高度の除染効率(DF)が要求され、その値は $DF10^3 \sim 10^6$ に達するものであり排気中に包含される殆どの塵埃はフィルターに捕捉される。

その結果、各フィルターは目詰りを起こしフィルターの圧力損失（以降は「圧損」と述べる）が増大し、ひいては負圧度の低下につながる。

b. 維持機構の対応と影響

排気フィルターの目詰りによる負圧度への影響は「目詰り」による気流の圧損値が負圧調整用ダンパーの圧力損失補償範囲（一般にはフィルターの初期圧損値の3倍程度）であれば、負圧度および換気風量の変動は発生しない。

しかしフィルターの管理が不十分なとき、または突発的に大量の塵埃が発生した場合にダンパーでの補償が不可能なときが生ずる。

このときは換気風量の低減が発生するばかりではなく「負圧度」も低下する。

2) 通常運転時における系統外での問題

(1) 強風時の風向き

臨海地域に多く配置される原子力施設は台風を含めての強風に晒されることが多い。

施設の大きさ、建家形状、周辺環境等により風圧が作用する程度は異なるが、その影響は大きい、ちなみに風速10m/sであれば、その動圧は6.3mmAqであり、風速30m/sでは、57mmAqに達する。

この圧力がすべての換気空調設備の「外気取入口および排気筒」に作用することはないにしても風圧の影響は、負圧度維持に大きな影響を与える。

a. 影響の原因

強風の影響をうける負圧維持機構は、上記の外気取入口、排気筒のほかに図-3にも示す微差圧発信器の「大気圧検出端」があり、ともに風圧の影響を風上、風下でも受ける。

台風を含めての強風は、風向、風圧ともに一定でなくその変動も激しいため、風圧は給排気口よりダクトを経て室内の負圧度を変動させる。

また大気圧検出端にも同様に、検出圧を変動させるほかに真の大気圧の検出をも狂わせることにより制御系統に動揺を与え、より負圧度維持を困難なものにする。

b. 維持機構の対応と影響

従来の換気空調設備においても「外気取入口、排気口、大気圧検出端」については当然、風圧の影響を防止するために、その配置、構造、覆い等の種々の対策を講じている。

しかし、まったく影響を無くすことが出来るものではなく、強風時の負圧度と換気風量の変動はある程度、やむを得ないものとされてきた。

これは上記の3箇所において風圧がそれぞれ異なって作用するため、その作用が重複する時点では大きな変動が発生する。

とくに負圧度の維持については、施設の全域に渡り、それぞれ異なった風圧が作用するため、仮に真の大気圧の検出が可能であっても全施設の各箇所の、すべてが適切な負圧度を維持していることにはならない。

このように従来設備においては強風時における負圧度および換気風量の安定維持は困難な時がある。

(2) 室の扉、シャッター等の開閉

各々の対象箇所（室、区画、機器等）において周辺部と隔絶されていた状態から扉、シャッターおよび点検口、マンホールが開放された場合に、負圧度と換気風量の変動に与える影響が大きい。

しかし扉の開閉については通常運転時は当然、頻繁に行われることでありシャッターについても資材等の搬出入時には開閉操作がある。

さらに装置、機器等についても通常点検、操作時の点検口等の開閉が必要となる。

このように本項に関しての事象は、通常運転時における定常的なものであり、その事象に対して負圧維持機構が十分に対応できなければならない。

a. 変動の原因

従来設備において、上記の事象が発生した場合の問題性について「扉、シャッター」については換気空調設備で「点検口、マンホール」については気体廃棄施設における対応で考察する。

a) 換気空調設備

施設の各室に設けられている扉等を開放すると、当該室が隣接室または大気より負圧である場合は、隣接室または外気より空気の流入が発生する。

しかし当該室への給気系統の給気風量は固定されたままなので、流入空気量に見合った排気風量を 増量して規定の負圧度を維持する働きを負圧維持機構が行ってしまう。

このように扉、シャッターからの流入空気量が当該室の排気系統の排気能力以下であれば、負圧度は維持されるが換気および排気風量は増加する。また、排気量の増加能力が流入空気量に達しなければ負圧度は維持されない状態になる。

b) 気体廃棄施設

上記の換気空調設備と殆ど同じ現象であるが開口部が小さく、かつまた限定された大きさである。

そのため一般的には、開口した際の開口部の風速を規定することがおおく、グローブボックスにおいては、その風速をNUCEFにおいては0.75m/s以上実験用フードについては前面窓半開時で0.5m/s以上としている。

b. 維持機構の対応と影響

a) 換気空調設備

流入空気量の増加に際しては、排気風量を増加して負圧度の維持を行うために、下流に設けている排気フィルターの適正処理風量を越えることがありフィルター部に過大な圧力負担が生じ、ミデアを破損する恐れがある。

この状態を防止するために最近ではダクトに風量センサーを設けるとか、排気フィルター装置にフィルター差圧センサーを設けて異常時に警報を発報する施設もある。

むろん大型のシャッターを開放する場合は、増加した侵入空気量に見合う排気風量の増加は無意味であるため放射エネルギーを他室へ移動するとか、密閉を行う処置のほかに、シャッター開放部における室内への風速を確保する方法や、二重シャッターによるエアロック室を設けることで対応することもある。

また当該室の室内空気が隣接室に吸引される場合は、当該室への給気系統からの給気の増加は殆ど無いために隣接室の影響を受けて負圧度が高くなる事象が発生しやすい。

このような事象は、汚染の拡大が生ずる危険が高い状態であり、施設の設計ではあってはならないことで、一般には他室の間に当該室よりも負圧度が低い廊下、エアロック室等を設けて対応している。

そのほかの対応は、殆どが運転担当者の監視および給気系統の手動ダンパー操作等の処置により負圧の維持が行われている。

b) 気体廃棄施設

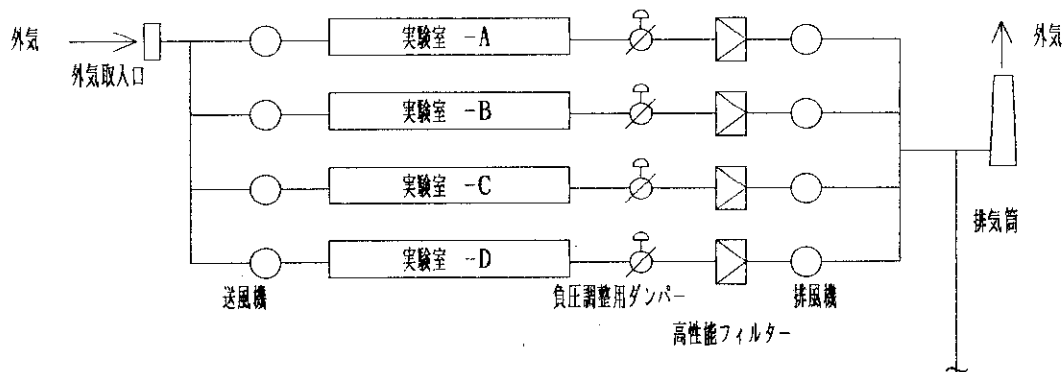
常時、放射性物質を内蔵しているか、汚染の可能性が高い装置、機器であり負圧変動の原因が限定され、小規模なため換気空調設備にくらべ負圧度の変動が少ないが、監視、警報設備を多用して対応している。

(3) 他系統の負圧維持機構の作動

この項での他系統とは、気体排気施設および換気空調設備において単一の外気取入口、排気筒を共有して、その給、排気系統が多岐にわたり構成されている場合と、単一の給、排気系統であるが負圧維持を行う対象室、装置等が複数であるものをいう。

その設備の違いを下記の概略図でしめす。

a. 第1種換気方式



b. 第3種換気方式

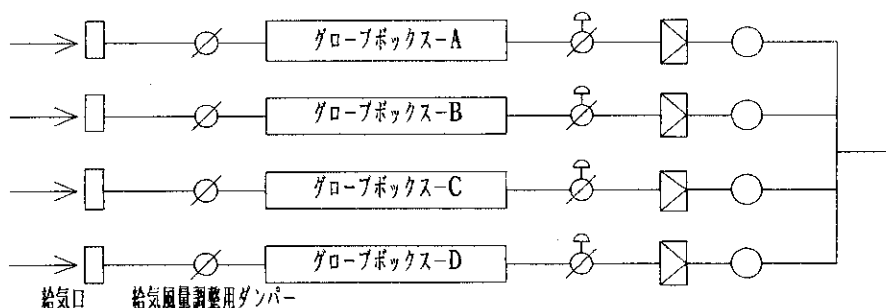
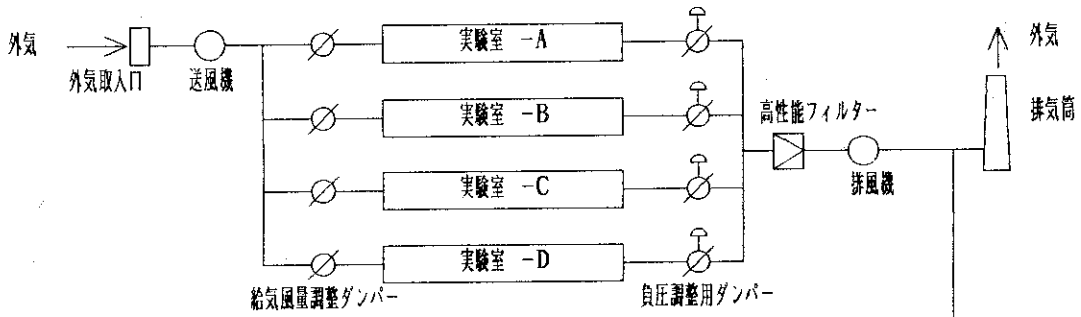


図-4 給、排気系統が複数で構成されている設備

この設備は、重要で、かつまた大規模施設に多いもので外気取入口、排気筒を共有しているが、その他の構成機器は完全に独立設備として設備構成がなされているもので前述3.1.1および3.1.2に示す機器を系統毎に有している。

a. 第1種換気方式



b. 第3種換気方式

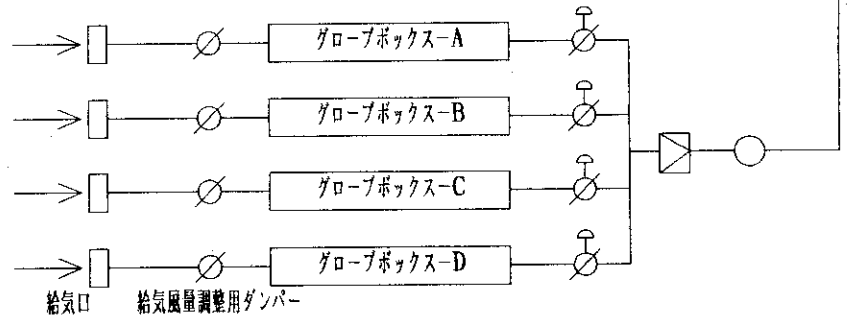


図-5 単一の給、排気系統で複数の室、装置等の負圧維持をおこなう設備

上記の各図は、各々の方式での設備構成を簡略化して機構毎に区分して図示しているが実際の設備は方式、機構を混合して用いることが多い。

図-4でわかるように、給、排気系統をそれぞれに区分して用いる設備の場合は、種々の安全性はたかく高度の機能をもつが施設の建設費、運転管理費が単一系統方式より大幅に上昇するほか、施設に占める当該設備の設置スペースが大きくなるなどの欠点をもつ。

また、排気筒、排気口については、気体廃棄施設と換気空調設備のそれぞれに設けて法の規制にそれぞれが対応している施設もある。

a. 変動の原因

前述の、図4、5に示すとうり設備の方式、機構が異なるため負圧度変動の原因、影響の内容とその度合もそれぞれ異なるので方式、機構毎に区分して考察を行う。

a) 給、排気系統が複数で構成されている設備 (図-4 参照)

負圧維持、換気対象箇所毎に系統が区分されている設備構成であり、最も理想的なもので他系統からの種々の影響を受けにくいものである。

しかし、この設備において他系統からの負圧維持機構の作動による影響を受ける要因としては、負圧維持を行う排気系統で故一共用している「排気主ダクト、排気筒」であり、とくに排気主ダクトでの風速は排気塔より速く、その距離も長いいため各系統における排気

風量の変化に伴い排気主ダクト内の圧力（静圧）も変動することになり、排風機に背圧変動が生じ系統の圧力分布の度合いが瞬時に大きく変化する場合は、負圧度に影響をあたえることがある。

b) 単一の給、排気系統で複数の箇所を対象とする設備（図-5 参照）

この設備の場合は、高度の安全性を要しない施設に採用されることがあるもので、通常運転時には汚染が発生しないところや、密封した放射性源しか用いない施設における設備に止めるべきである。

負圧度変動の原因としては、上記 a) と同じく排気ダクトの共用であるが、この場合は各系統のダクトの共用範囲が大きく、発生する影響の度合いもさらに大きなものとなる。

とくに、この方式ではダクト内の静圧変動を緩和してくれるべき排風機、高性能フィルター等を介さないで各ダクトが、直接に接続されているためその影響は全系統にわたり顕著に発生するために負圧維持が安定しない事象が起こりやすい。

b. 維持機構の対応と影響

a) 給、排気系統が複数で構成されている設備

この設備においては排気主ダクト、排気筒が適切に設計されていれば殆ど他系統からの影響をうけにくい、ダクト内風速を大きく(10m/s以上)しない設計（ダクト内静圧は風速の二乗に比例して増加する）を心掛けるべきである。

なお、この場合は負圧維持制御機構に緩衝機能を付加させる方法や制御動作機構に微積分動作機構を付加することで対応できる。

b) 単一の給、排気系統で複数の箇所を対象とする設備

この設備の場合は、上記 a) での対応では不十分、で変動要因の高い箇所での負圧度の安定は期待できない。

さらに、高性能フィルターの上流で各系統の排気ダクトが接続されているため一系統での汚染発生が他系統おも汚染させてしまい汚染拡大事象がおこりやすい欠点をもつ。

3) 過渡変化時における系統内での問題

(1) 給気口ガラルの閉鎖

a. 影響の原因

換気空調設備における給気口は、外気を取入れを行うものであり施設の外部に設けられるが気体廃棄施設の給気口は、一般には施設内の空気を取入れるものであり室内に設置される。

この各々の給気口は、空気の吸引をおこなうためガラリ部分において、風速4～5m/sの気流が生じるために周辺の種々にある飛散、飛翔しやすい物体を吸引することがある。

とくに、強風時においては、施設周辺での農業用ビニールシート等がよく飛散、飛翔するために外気取入口に付着してガラリ面を覆う危険性が高い。

また、実験室等の室内においては、汚染防止のために多用しているシート類や、用紙等が

当該室に設置されている気体廃棄施設の空気取入口に付着することも有り得る。

b. 維持機構の対応と影響

給気口をシート等により閉鎖されることは、フィルターの目詰りよりも給気風量の低下が顕著に発生し換気風量の低減、負圧度の超過や変動につながるため給気口の監視は重要なものである。

この給気口の閉鎖を防止するために給気ガラルの前面に格子、金網状のガードを設けることは一般に行われている。

しかし、ガラル付着物の材質、形状や付着状態が予測できるものではなく、全ての状態での対応はガードのみでは不可能である。

また負圧維持機構での対応においては、ガラルの閉鎖状態によっては大きな影響が発生するため給気口には、閉鎖による生ずるダクト内圧力の変動を感知する微差圧センサーを設けるとかガード部、ガラル部に障害物検知センサーを設けて早期発見につとめる必要がある。

(2) 吹出風量調整用ダンパーの誤動作

このダンパーは、給気系統に設けられるもので第1種、第3種換気方式を問わず用いられており作動方式は、自動式と手動式とがある。

自動式は、送風機または排風機と連携して作動するもので、設備運転の停止時は、ダンパーを閉鎖して系内における空気の移動を阻止する働きをおこなう。

また、その動作は開放、閉鎖の「二位置動作」がふつうであり、開放時におけるダンパー開度は、所定の風量にあわせて固定設定するもので、ダンパーは常時、その設定開度まで開放動作をおこなうものである。

手動式は、常時開放しており開度は自動式と同じく固定設定であり、重要度の低い施設、系統に採用されている。

a. 変動の原因

自動式のダンパーにおける誤動作の原因は、主に制御機構の異常作動によるものがあげられる、それは操作源である電力、圧縮空気の供給停止、変動等のほか、制御機構そのものの故障があり、さらにはダンパー本体の故障、破損、劣化等が原因となる事もある。

とくに自動ダンパーの故障に際しては、汚染の拡大防止のためダンパーが自力閉鎖（ダンパー操作器に内蔵のスプリングにより緊急閉鎖を行う）する構造のため、排気系統に設置している負圧調整ダンパーでの追従動作が遅れることにより室内、機器内は負圧超過状態となる。

その後、所定の負圧度に順次、復帰するが前述の、給気口ガラルの閉鎖状態と同じく換気風量は大幅に低下する。

手動ダンパーの場合は、自動ダンパーのような事象の発生する要因がなく、従事者の誤動作だけの問題であるため負圧度に影響を与える誤動作を行うことは、殆ど有り得ない。

b. 維持機構の対応と影響

上記のように吹出風量調整用ダンパーの誤動作で負圧度に影響を与えるものは自動ダン

パーである。このような「動的機器」を設けるばあいは高度の安全性を要求される施設の設備に使用するものは、ダンパーの「並列多重設置」により対応することが望ましいが、このような対応をしている従来施設は少ない。

現在の殆どの設備においてはダンパーの開、閉状態を監視パネルに遠方表示するのみであり、警報表示が出た時は過渡変化状態に至っている。

また、ダンパーの自力閉鎖機構を除外することは、そのほかの過渡変化時に対応して汚染の閉込めを目的とするフェールセーフ対応から外れる。

(3) 送風機の誤動作

第1種換気方式を用いる設備においては送風機を設置しているが、その構造は多種、多様である。

一般に原子力施設では「遠心型送風機(多翼型やリミットロード型)」を採用することが多いが、一部の系統では「軸流型送風機」を用いる場合もある。

また、その駆動源には電動機を用いているのが殆どであるが、動力伝達機構は直結駆動型、ベルト駆動型の二種が多用されている。

a. 変動の原因

一般に送風機の誤動作で負圧度に影響を与えることは少ないものであるが、発生したばあいの影響の度合いは大きいものとなる。

以下に発生が考えられる主な異常事象と原因を示す。

a) 送風機本体

(a) 羽根車の破損

送風機の羽根車の回転数は、毎分、数百回転しており、羽根車の外周速は、毎秒、10～30mに達するものであるため、羽根の風切による微振動や羽根車の微小なバランスの狂いによる振動による羽根車構造材の長期疲労により瞬時に破壊にいたることがある。

また、羽根車構造材の腐食や、流入異物の羽根車への衝突、付着により羽根車が破損することや、その相乗作用により破壊することもあり十分な保守管理が望まれる。

(b) 軸受部の損傷

送風機の軸受(ボール、ローラー軸受)の不良、磨耗、劣化、潤滑油不足等の種々の原因により軸受に異常が発生して送風機の回転に大きな影響を与える。

さらには、軸受損傷による過負荷現象により電動機にも悪影響を与える。

b) 駆動部

(a) 駆動ベルトの損傷

ベルト駆動型においては、ベルトの磨耗、切断、緩み、さらには、プーリーからのベルト外れ等の原因により送風機の運転に大きな影響を与える。

(b) 電動機の異常

電動機本体の絶縁コイルの劣化、付属軸受の損傷、過負荷等により送風機の運転に大きな影響を与える。

(c) 供給電源の異常

電動機駆動用電源の喪失、電圧及び周波数異常による。

b. 維持機構の対応と影響

上記の、主な変動の原因、となる送風機の誤動作の殆どは、本体及び駆動部の損傷に起因するものである。

そのため、単一の送風機では、いかに保守管理の向上を計っても完全に誤動作を防止できるものではない。

ゆえに、他の動的機器と同じように送風機の並列、多重設置を行い、異常時には予備機をただちに起動させるか、主機と予備機を並列運転させておき異常検知によりダンパーの切替をおこない、給気流路を予備機側に自動切替する機構がある。

現在この機構は、一部の高度な施設の重要系統に採用されているが、他の施設、系統でも、この機構の採用が望ましい。

また、送風機の異常検知で給、排気系統のダンパー、排風をも閉鎖停止させて施設内、室内に汚染を閉込めることで対応している従来施設もあるが、この場合は施設内の汚染重要度が低いところに限られている。

さらに、電動機駆動電源の喪失については予備電源として当該施設に非常電源装置を設置して、常用電源回路とは別回路で電源供給できる機構が望まれる。

なお以上の対応のうち多重設置および非常電源装置については、原子炉施設および再処理施設について、原子炉等規制法により設置が義務付けられている。

送風機の後動作を防止するための以上に述べた対応が不可能であれば、一時的には負圧度の超過が発生するほか換気、排気風量の大幅な低下事象が発生する。

(4) 各室排気口ガラの閉鎖

この事象は、換気空調設備のみの事象であり気体廃棄施設では個々の排気口は機器内に設置されるため原則的には排気口が閉鎖することはない。

換気空調設備における各室の排気口は、一般には室の隅部の床面の近くに設置され室内の塵埃が上昇飛散しないように配置されている。

この事象は前述3.4-1)-(2)の「排気除塵用フィルターの目詰」と同じ状態であるほか、第3種換気方式での気体廃棄施設における「給気口(空気吸込口)閉鎖」とも類似する事象となる。

この事象が発生する原因は、室内で多用する「シート、用紙類」が気流で飛散したり、従事者がシート類を誤って排気口に付着させるために起こる。とくに、室内の排気口は床面に近い低い位置に設けられることが多く種々の物体が吸引される危険性が高く十分な監視と管理が必要である。

また、室内排気口が閉鎖されると従来の負圧維持機構は、給気量の制御機構が無いことにより「排気量を上まわる給気量」のために、室内負圧度は急激に低下し、閉鎖の度合いによっては室内気圧が「正圧」になり、汚染拡大防止の上からは最も危険な状態となるほか、換気量の

低下をも発生する。

この事象を防止するために従来施設においては「設備の管理および監視」を徹底させるほか、室内の負圧度の監視ができる「微差圧計、微差圧検知センサー」を設けて対応しているが十分なものとは思われない。

(5) 負圧調整用ダンパーの誤動作

このダンパーは、前述の「吹出風量調整ダンパー」と異なり自動制御機構を付帯しているため制御機構が複雑であるが、ダンパー本体の構造は殆ど同じものである。

また、ダンパーの動作は排風機と連動で起動し、図-3に示すように当該箇所の微差圧発信器からの信号により排風風量の調整動作をおこなう。

そのため「負圧度変動の原因」は、自動方式の吹出風量調整ダンパーと同じであるので「維持機構の対応と影響」について述べるものとする。

当ダンパーの制御機構が誤動作を起こすと、当然「負圧度」は安定性が無くなり「異常状態」となり種々の警報を発報して従事者に危険を知らせる機構が設けられている。

さらに、誤動作が進んだ状態ではダンパーが自力で閉鎖するものが多いが、閉鎖と同時に「第1種換気方式」の設備では、運転を継続または停止しても送風機が慣性運転していることにより室内空気が「正圧」に逆転する危険性が高くなるほかに排気風量が「皆無」となる。

第3種換気方式でも負圧維持動作が停止するため、当該箇所の気圧は瞬時に周辺部の気圧と同圧になる。

このように危険な状態に至るため前述の「吹出風量調整ダンパー」と同じく、当ダンパーの「並列多重設置」が最も望ましいが、せめてダンパーの閉鎖により「送風機の停止、吹出風量調整ダンパーの緊急閉鎖」ができる「インターロック機構」を設けることが望ましい。

しかし現在、この機構さえも採用している施設は少ないと思われる。

(6) 排風機の誤動作

「排風機」は気体廃棄施設、換気空調設備において最も重要な機器であり負圧度確保の「根源」である。そのため従来施設においても、排風機一台のみの設置施設は少なく二台以上の「並列多重設置」をしている設備が多い。

その構造は、前述の「送風機」と殆ど同じものであるが、排気系統の流路（ダクト等）での圧力損失が大きいほかに当該室、当該機器の「負圧度」の確保を排風機がおこなうために排風機が必要とする「発生圧力（全圧）」は送風機にくらべて大きく、遠心型送風機のうち「ターボ型、プレート型及びエアーホイール型」等の高圧送風機が用いられる。

この型は、送風機にくらべ羽車、渦巻室に大きな荷重がかかるために、羽車、渦巻室の構造材厚を厚くし、駆動機構の軸受数を多くした頑丈な構造として耐久性を向上させたものが用いられる。

この排風機で誤動作が発生する原因と影響は、前述の「送風機」と同じものであるが、誤動作の発生と同時に「負圧度の異常」が直ちに生ずるので、その影響は大きいものとなる。

そのため従来施設においても、汚染重要度が高い機器等の排気系統（例えば「非密封プル

ニューム」の取扱用グローブボックスの排気系統)では、排風機の「多重設置」をおこなうほかに、主排風機と予備機の「並列、同時運転」をおこない、ダンパーの切替操作のみで予備機系に短時間で切替ることができるために負圧度の変動が殆ど発生しない対応ができる設備も一部ではあるが設置されている。

この場合の「電源および操作系統」も全て多重系統として対応度を高めているほかに「予備機」の動力源は耐震度を高くした「無停止電源系統(バッテリー電源)」からの給電方式を採用して商用電源およびエンジン発電機電源の喪失時にも対応できるものとしている。

4) 従来の負圧維持機構の考察の纏め

前述のごとく「従来の負圧維持方式」の問題点の内、影響の度合いが大きい「12要因」を対象として「維持機構の対応および影響の内容と、その度合い」について考察をおこなった。

その結果は、12項目の「負圧度変動要因」の各項目ごとに満足な対応ができる従来機構はほとんど無い。

無論、一部の重要施設においては一部の系統において、なんらかの対応を行っているものがあるが、万全の対応には至っていない。

とくに「通常運転時」における対応のうち、外乱的な要因が強い「外気除塩用フィルターの目詰り、強風時の風向き」の事象については、その事象の発生予測および規模や程度の予測ができないために、事前の準備、処置等を施すことができないという問題がある。

また「過渡変化時」の変動要因の殆どは設備の多重化、多様化、さらには保守管理の高度化処理により対応が可能になるが、通常運転時と同じ外乱的な要因である「給気口ガラの閉鎖」および「各室排気口ガラの閉鎖」については、その対応が困難である。

さらには殆どの「負圧度の変動要因」により発生する事象は、前述2.2に示す「気体廃棄施設と換気空調設備の基本条件」をも合わせて満足させていない。特に、負圧度の維持と共に重要な条件である「換気量の維持(排気風量とも)については、全ての変動要因において大幅な換気量の低減事象が発生するため施設内の温、湿度環境の維持をも困難なものとなる。

このように従来の負圧維持機構については、大きな種々の欠陥をもっているが、唯一の「長所」は、その機構が単純、簡素であり故障、誤動作等の発生が低く、また建設費および維持管理費が低減できることである。

しかし、従来機構では「換気量の変動」を阻止することは、その機構から殆ど不可能である。

それは、従来の負圧維持機構図(図-3参照)に示すように負圧度の変動事象が発生した場合に排気風量を制御して負圧度を維持する機構であるために換気風量を維持する制御機構を具備できないところに原因がある。

このような対応の欠如は「気体廃棄施設、換気空調設備の基本条件」および「許、認可申請」の記載事項に反することであるほか、施設内および施設周辺への環境への影響も大きいものと思わ

れる。

その改善のためにも「負圧度と換気風量の維持」の対応が従来機構より向上している「定排気量負圧制御機構」を後述することにより、今後の各位の参考として頂ければ幸いである。

4. 定排気量負圧制御機構

前述した「従来の負圧維持機構」における「負圧変動要因」にたいしての対応の欠如は、施設の多様化、高度化が進み一層の安全性が要求される現在の原子力施設では満足できる機構とはいえない。

無論、従来の機構といえど昭和32年、我国初の原子炉施設の運転開始以来の36年間に渡り『負圧度および換気風量の変動』に起因した放射能汚染事故は発生件数も少なく、その汚染の程度も小さかったことは事実であり、幸いなことである。

このことは、従来の原子力施設においては、放射能発生物質の取扱量が比較的少なかった事と、関係者が汚染の発生の防止に多大の注意と努力を図ったからに他ならない。

しかし今後の我国における原子力施設は発電用原子炉に用いる大量の「ウラン燃料」の製造や使用済燃料の再処理、さらには英、仏国より返却される再処理済プルトニウムのほか、旧ソ連邦の核兵器廃棄により放出が懸念される高濃縮プルトニウム等の燃料加工、処理施設等の大型施設の整備が考えられる。

また、その様な施設から排出されるTRU（超ウラン元素）物質を含む高レベル廃棄物の「放射能消滅処理」を含めての処理処分施設の建設も必要となってくる。

そのため今後の原子力施設の気体廃棄施設や換気空調施設における「負圧維持機構」については、従来の機構に比べ、より高度な対応が要求される。

そこで「負圧度の変動要因」の全ての事象に対応できるものでは無いが、従来機構より機能を大巾に向上させた『定排気量負圧制御機構』について本項で紹介する。

この機構は、著者が従前より下記の施設に段階的に採用し、最終的には「核燃料サイクル安全工学研究施設（NUCEF）において、その機構の確立をしたものである。

「定排気量負圧制御機構」の採用の経過

1. 燃料研究棟 ……………（昭和48年竣工，原研大洗研）
「グローブボックス，実験用フード」の各々の総排気風量の定量維持機構のみ。
2. 低レベル α 固体廃棄物処理棟 ……………（昭和52年竣工，原研大洗研）
「 α ホール（ α 放射性廃棄物の分類作業室）」排気量の定量維持機構のみ。
3. JRR-3 使用済核燃料保管棟 ……………（昭和56年竣工，原研東海研）
「使用済燃料保管孔」と「室内」総換気量の定量維持機構の設置。
4. JRR-3 実験利用棟 ……………（昭和63年竣工，原研東海研）
「セル，実験用フード」排気量のほか「高重要度室」換気量の定量維持機構。
5. 核燃料サイクル安全工学研究施設 ……………（平成5年竣工予定，原研東海研）
「セル，グローブボックス，実験用フード」の各排気系統の排気量のほか「炉室，実験室，作業室，装置室」の重要度区分ごとの各換気量の定量維持機構。

4.1 定排気量負圧制御機構の概要

前述の「3. 従来の負圧維持機構」で述べたごとく従来機構での最大の欠点は、負圧度の維持を最優先とする機構のために、換気風量とくに「排気風量」の確保が、おざなりになることにより「3.4 従来の負圧維持機構の考察」で述べたように種々の問題が発生する。

それは、従来の負圧維持機構図（図-3、参照）に示すように負圧度の変動事象が発生した場合に排気風量を制御して負圧度を維持する機構であるために換気風量を維持する制御機構を具備できないところに原因がある。

そのため『本機構』では「負圧維持機構」と「排気量維持機構」とを、それぞれに区分して「給気系統」および「排気系統」に独立して付加することにより問題を解決した。

すべての原子力施設は、放射能汚染の拡大防止のために施設内を大気圧または周辺気圧より負圧に維持しているので給気系統を経て施設内に導入される「外気」のほかに周辺部(扉、シャッター、隙間等)より内部に進入する空気量は、当該箇所の時々の使用状態により一定ではない、そのため侵入空気は施設内の負圧度を変動させる大きな要因となっている。

そこで「本機構」では負圧度を維持するために給気系統以外からの侵入空気量に応じて給気系統からの給気風量を制御する「負圧維持機構」を「給気系統」に設ける機構とした。

また、排気系統における排気風量の変動要因は「高性能フィルター(排気除塵フィルター)の目詰り」が最も大きなものであり、給気系統にくらべ変動要因が限定される。

そのため「本機構」では「排気系統」に排気量維持機構を設けて、常に一定量の排気を当該施設、区画、室、機器等より行えるものとした。

この機構は給、排気系統の各々にそれぞれの機能をもった「自動制御ダンパー装置」を設けることで従来機構を大巾に変えるものではない。

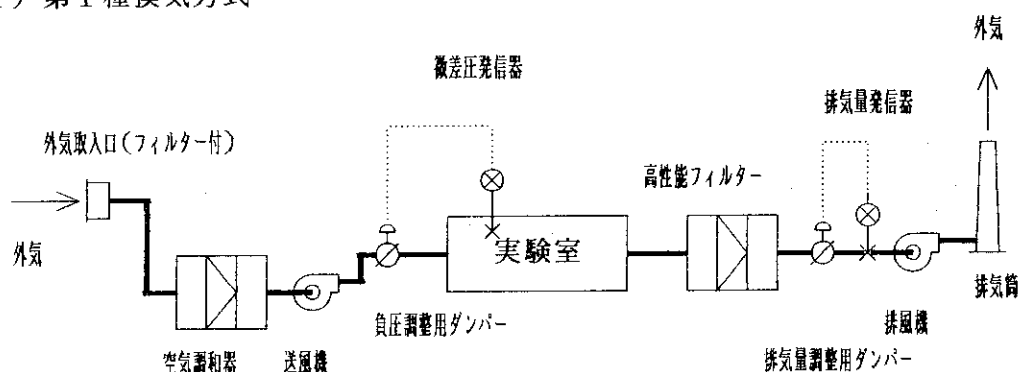
「給気系統」では当該箇所からの「負圧度維持信号」によりダンパーを作動させるものとし、「排気系統」は排気塔や排気ダクトにおける「風量維持信号」でダンパーを操作するものであり、端的には従来機構の給気系統に自動制御ダンパー装置を増設しただけのものである。

しかし、この機構の確立により前述した種々の問題点のほとんどは解決または緩和され、かつまた排気量維持が大巾に安定することにより「高性能フィルター(排気ガス吸着フィルターを含む)」の処理機能が向上する。

この機構は第1、3種換気方式ともに採用することが可能であるが、とくに侵入外気量の変動が顕著である第1種換気方式を用いることの多い「換気空調施設」において効果が著しい。

また本機構は従来機構と同じく負圧度の維持対象箇所ごとに設置することが望ましい。

1) 第1種換気方式



2) 第3種換気方式

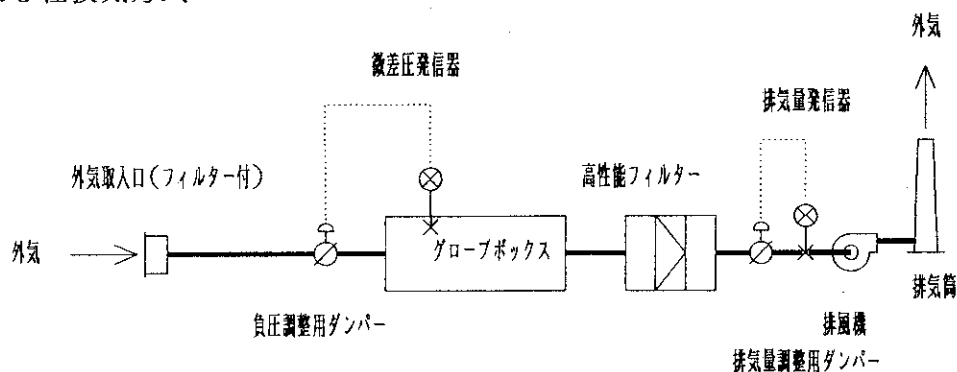


図-6. 定排気量負圧制御機構の概略図

- 注) 1. 本図は負圧維持の対象箇所を各換気方式とも一箇所に限定して図示しているので複数箇所の場合は、前述の「図-4.5」を参照のこと。
 2. 各発信器と各ダンパーの間には「指示調節計」を設ける。
 3. 「微差圧発信器」での差圧は「大気圧と室内気圧」および「周辺部気圧とグローブボックス内気圧」との差圧とする。

4.1.1 従来設備機構との相違と効果

以下に従来の設備機構「図-3参照」と定排気量負圧制御機構（図-6参照）との機構および機能の相違点について述べる。

1) 機能の分離

「従来の機構」については、排気系統に設置した「負圧調整用ダンパー」により当該箇所の「負圧度」のみの維持をおこなう他は、その他の機能をもたない。

「定排気量負圧制御機構」は負圧維持機能を「給気系統」にもたせ、排気量の維持機能を排気系統にもたせた、機能を分離した機構とし、それぞれの系統に設置した「調整用ダンパー」によ

り種々の変動要因に対応させるものである。

2) 定排気量負圧制御機構の概要

本機構は第1, 3種換気方式ともに「負圧度の維持」については、当該箇所へ設けた「微差圧発信器」からの信号により「負圧調整用ダンパー」を自動操作して給気風量を制御して負圧度の維持を行う機構である。

また、「排気量の維持」は、排気ダクトまたは排気筒に設けた「排気量発信器」からの信号により排気系統に設けた「排気量調節用ダンパー」を自動操作して排気風量を一定に維持する機構である。

3) 設備の概要

本機構を構成する設備は、すべて従来の気体廃棄施設および換気空調設備に用いていた設備機器での対応が可能である。

図-6, では「排気量発信器」が新たに設けられているが、この発信器は原子力施設では、法により設置が義務付けられている施設からの「排気風量測定器」の併用であり、その信号を利用して調整用ダンパーを操作する「調節器」を追加設置するだけの対応である。

ただし、今後の原子力施設、とくに高度の安全性を要求される施設においてはダンパー装置を含めての設備機器の見通しが必要である。

使用する設備機器の仕様等については本著での別項(5項)で後述する。

4) 効果

本機構の機能による効果としては、前述の「3.4 従来の負圧維持機構の考察」での「表-5~7」において提示した「影響の度合」を基本として解説する。

なお同表において従来機構で問題の無い「変動要因」については本機構においても同等以上の機能が発揮できるために以下に述べる「効果」については従来機構と比較して、その効果が著しい事象での解説とする。

また、機能向上の理由については、次項において述べるものとする。

(1) 通常運転時における「系統内での変動」における対応

給、排気系統に設けた「フィルター、暖冷房コイル等」の目詰りによる換気量の減少を、より有効に防止できるほか、負圧度の変動程度および頻度を大巾に低減して安定した対応が可能となる。

とくに「外気除塩フィルターの目詰り事象」の大きな原因となるフィルター面で塩分の潮解現象時の急激な風量の減少に対しても対応度が向上する。

(2) 通常運転時における「系統外での変動」における対応

系統外での変動による種々の影響の程度は、従来機構でも高くはないが、本機構では、そのうち最も問題となる「強風時の風向」による換気風量の変動の度合を低減する効果が特に高い

ほかに、扉等の開閉や他系統からの影響による変動要因にたいしても、より安定した制御が可能となる。

(3) 過渡変化時における「系統内での変動」における対応

この項での変動要因は「異常な過渡変化事象」をいい、系統機構の構成設備の誤動作および故障等が主なものである。

本機構においては、そのなかで重要設備機器であり、誤動作および故障の頻度が高い「自動調整用ダンパー」の劣化防止の効果が大きいほか、誤動作の発生頻度を低減する効果をも持つ。

また、各給、排気口ガラの閉鎖事象についても影響の度は少ない。

しかし、送、排風機の誤動作およびダクト等の破損による影響については従来機構と同じである。

4.1.2 機能向上の理由

本機構において「負圧維持機構」と「換気量維持機構」とを給、排気系統に分離してもたせた結果、以下に述べる理由により従来機構を大巾に上回る機能が発揮される。

1) 給気風量の変動事象における対応

(1) フィルターの目詰り事象における対応

給気系統に設けられている種々のフィルター類（粗フィルター、除塩フィルター、高性能フィルター）は、空気中に含まれる種々の塵埃等により目詰りが発生して圧力損失が大きくなり通過風量（給気風量）が減少する。

a. 従来機構の対応

従来機構では「給気風量が減少」すると当該箇所の負圧度を維持するために負圧調整用ダンパーにより「排気風量」を「給気風量」に合わせて低減する方法であったが、その結果は当該系統の換気風量の低下となるため、その都度、運転要員が給気系統に設けている「手動ダンパー」を操作して所定の風量に調節する必要があった。

b. 本機構の対応

給気風量が減少すると当該箇所の負圧度が深くなるため、微差圧発信器からの信号により「負圧調整用ダンパー」が、今までより開放して従前の負圧状態の給気量を補償することにより「負圧度」を維持する。

この時点の排気風量は、一定に維持されているため換気量の変動事象は発生しない。

このことは、給気フィルター面に付着した「塩分の潮解現象」によって発生する「フィルターの圧力損失」の急激な上昇時にたいして「負圧度および換気量」とともに影響を受けることが少なく、またその即応性も高い。

(2) 扉の開閉、隙間等の侵入および漏出空気による給気量の変動事象における対応

a. 従来機構の対応

給、排気系統以外からの空気の侵入や漏出事象は、当然発生するものであるが従来機構における問題点は、とくに「扉の開け放し」や「シャッターの開放時」に当該室が負圧のため大量の周辺外気が侵入する事象での対応である。

この場合は「負圧度の維持」のため、微差圧発信器からの信号により「負圧調整用ダンパー」を、より開放して侵入空気量に見合った排気風量を増加させることにより定格排気量を超えた風量となり「高性能フィルター」の面風速が上昇するため「フィルターの塵埃除去効率を低下」させるほか、時には「フィルター濾材の破損」を促すことにもつながる。

b. 本機構の対応

侵入および漏出空気にたいし、本機構では給気系統に設けた「負圧調整用ダンパー」により給気風量を調整して「負圧度」を維持する。

すなわち、侵入空気と給気系統を経て当該室に供給される「全給気量」は、排気風量（定排気量で維持されている）に合わせて常に一定風量が安定して維持される状態となる。

このことは、従来機構とは異なり給気系統に設けられている種々の「フィルター」に処理風量の増加により、過大な負荷を掛けることは殆ど無いこととなる。

さらに他室および他系統の影響をも受けにくい機構となる。

なお、当該箇所での空気の侵入および漏出現象にたいして、本機構の「排気系統」は負圧度の維持機構をもたないため何等の影響も受けない。

しかし、「負圧調整ダンパー」は、動作が頻繁であることは従来機構と同じ状態であるために、同装置の劣化、磨耗等に起因する「故障の頻度」はあまり変わらないものとなるが、原子力施設における給気系統は、汚染の可能性も低いために保守、点検をも容易となり「保全度」が従来機構のように排気系統に設置した場合に比べて大巾に向上する。

(3) 給気口ガラルの閉鎖事象における対応

本事象は突発的に発生するもので、その発生頻度は少ないものであるが、発生した場合の影響は大きく、重大な事象となる。

a. 従来機構の対応

外気取入口を含む給気口ガラル部の閉鎖事象は、排気口の閉鎖よりは容易に発生しやすいものである。

また、その閉鎖状態が不完全なものであれ、ガラル部の気流抵抗は増大し、給気風量の低下につながる事象であるが、従来機構での給気風量の減少により当該箇所の「負圧度」が深くなるように排気系統に設けられている「負圧調整用ダンパー」が作動して排気風量を絞り負圧度を維持するが、当然、その換気量は低減する。

b. 本機構の対応

「定排気量負圧制御機構」においては、給気口ガラルの気流抵抗増加に対抗して給気系統に設けられている「負圧調整用ダンパー」を開放して給気風量の低下を阻止するものである。

しかし、ダンパーの「調整能力をこえる閉鎖事象」の場合は、本機構では負圧度の増加を防止するため「微差圧発信器の指示調節計」により「排気量調整用ダンパー」を操作して負圧度の維持をおこなう「カスケード制御」機構を付加設備として設けることができる。

この事からも本機構は従来機構より、この事象における対応度が高いものといえる。

(4) 強風時の対応

我国の原子力施設の殆どは、臨海地区に設置されているため台風以外においても強風にさらされることが多い。

そのため、第1種換気方式を用いる換気空調設備のように施設外部に給気口を設置している設備系統の場合には、外気取入口からの風圧の影響により給気風量の変動事象が発生するおそれが多く、負圧度および換気量の安定維持に悪影響を与える。

なお、気体廃棄施設の殆どは施設内の周辺空気を吸引する第3種換気方式であるため強風による影響の発生は殆ど無い。

a. 従来機構の対応

換気空調設備における外気取入口からの風圧の影響は、取入口が風上に位置しているときに最も影響が大きく施設への給気風量が増大する。

換気空調施設では外気取入口以降のダクト内圧力は、外気を給気系統へ導入するため送風機の吸引圧力により「負圧」となっている(図-1参照)が、取入口での風圧により見掛けの「大気圧」が上昇し、施設内への給気風量が増加し、負圧度低下を促す事象が発生する。

従来機構では給気系統にこのような事象を阻止する制御機構を具備していないため、負圧維持箇所に設置した微差圧発信器からの信号により負圧調整用ダンパーを動作させて排気風量を増加させて負圧度を維持する「間接的対応」のため、換気量の増大を生ずるほかに負圧度の安定性にも影響する。

また外気取入口が風下になるときは、風上時より影響は少ないが給気風量の低下現象が発生する。

b. 本機構の対応

本機構においては、強風時における外気取入口への風向がどのような状態であろうと排気風量は一定に維持されているため、外気取入口の風圧変動による負圧度維持を給気系統に設置した負圧調整用ダンパーにより「直接に対応」させることにより従来機構にくらべ負圧度の安定性が向上する。

2) その他の事象での対応

前述の表-5~7に示す負圧度の変動要因は多々あるが「定排気量負圧制御機構」において「給気量の変動事象の対応」のほかに従来機構にくらべて特に性能向上が著しい対応が可能なものを以下に述べる。

なお、本項で示す以外の変動事象における本機構の対応は、従来機構と同等と判断されたい。

(1) 他系統の負圧維持機構の作動による影響での対応

本事象における影響の度合は、前述の「3.4-2) -(3), 他系統の負圧維持機構の作動」で示すごとく第1種, 第3種換気方式での給, 排気系統の構成により影響の度合いが大きく異なる。他系統の変動影響が大きい設備構成は前述項1) に示すごとく「単一の給, 排気系統で複数の室, 装置等の負圧維持を行う設備」であり, 従来設備では初期の施設や汚染の危険が低い施設に採用されている。

a. 従来機構の対応

前述の理由のごとく他系統からの影響を大きく受ける。

これは単一の給, 排気系統で複数の箇所の負圧維持を行おうとする際に, 外乱(室の扉の開閉等)を受けることにより当該室の負圧度を維持するため負圧調整ダンパーが開放して当該室の排気量を増やすが, 排風機の総排気量は変わらないため当該室の排気量が増加した分だけ他室の排気量は減少する状態となり, 各室の負圧調整ダンパーまでが動作することになり調整動作が相互干渉するため各室の給, 排気量が全て変動して負圧度の安定維持に至るまで時間を要する。

b. 本機構の対応

複数の負圧維持対象箇所を単一の給, 排気系統で対応する場合は本機構においても多少に関わらず全室に影響を与える。

しかし, 本機構においては各室の排気量は一定に維持されているため排気量の変動は, ほとんど発生しない。

その代り給気量が変動するが排気量の変動が少ないので給気系統のみの相互干渉に止まるため負圧度の安定維持に要する時間も少なく, 負圧度の変動巾も小さい。

(2) 負圧調整ダンパーの誤動作

気体廃棄施設および換気空調施設において, 最も稼働率の高い設備は送, 排風機であるが, 負圧調整ダンパーも同じく稼働率が高い機器である。

また, 負圧調整ダンパーは送, 排風機にくらべて機構が, はるかに複雑であり, 部品数も大幅に多く電気式, 電子式, 空気式または, その併用式の制御機構をも併設しているため故障, 誤動作の危険が高い。

従来機構も本機構でも使用するダンパーは同じものを採用するが, 本機構におけるダンパーの動作目的を負圧調整に限定しているため作動頻度が従来機構に比べて少ないだけ故障, 誤動作の発生率が低減する。

また, 本ダンパーは制御機構の故障(制御信号の停止を含む)により自力閉鎖(一般には内蔵スプリングによる)する場合に, 従来機構においてはダンパーを排気系統に設置しているため, ダンパーの急激な自力閉鎖により排気は瞬時に停止するが, 給気は継続しているので, この給気圧力により当該室の気圧は瞬時にして正圧に変わり汚染拡大の危険が高まる。

しかし, 本機構においては負圧調整ダンパーの閉鎖により給気は停止するが, 排気系統が健全であるため当該室の負圧度は高るが, 負圧は維持されるため汚染の拡大は阻止される。

また、この際は前述の「(3)給気口ガラの閉鎖事象における対応」のごとく「カスケード制御機構」を付加することで「負圧度」のみの維持は可能となる。

4.2 定排気量負圧制御機構と従来機構との比較表

前述「4.1 定排気量負圧制御機構の概要」において両機構の違いを示したが、表-5~7、に準じて夫々の変動要因における対応の違いを簡略にして下表に示す。

表-8. 通常運転時における系統内での変動による対応

変動要因	従来機構の対応	本機構の対応	両機構の比較
1.外気除塵フィルターの目詰り	自動的対応不可	自動的に殆どの対応は可能	本機構での対応が優れている
2.外気除塩フィルターの目詰り	自動的対応不可	自動的に殆どの対応は可能	本機構での対応が優れている
3.凝縮水のコイルへの付着	短時間は自動的対応不可	影響は殆ど無い	本機構での対応が優れている
4.排気除塵フィルターの目詰り	許容範囲内であれば自動的対応可能	同 左	本機構の制御範囲が広く対応性は良い
5.排気ガス吸着フィルターの目詰り	同 上	同 上	同 上

表-9. 通常運転時における系統外での変動による対応

変動要因	従来機構の対応	本機構の対応	両機構の比較
1.大気圧の変動	影響はない	同 左	差異は無い
2.強風時の風向き	自動的対応不十分	殆どの場合の対応可能	本機構での対応が優れている
3.室の扉、シャッター等の開閉	負圧維持は可能であるが換気量の変動が発生	殆どの場合の対応可能	本機構での対応が優れている
4.室内での温度変化	影響はない	同 左	差異は無い
5.室内、装置内でのガスの発生	殆どの場合には影響はない	同 左	差異は無い
6.室内での他設備の運転	設定の範囲内であれば自動的対応は可能	同 左	差異は無い
7.他室での負圧度の変動	殆どの場合には影響はない	影響が無い	本機構での対応が優れている
8.他系統の負圧維持機構の作動	影響は大きい	余り影響を受けない	本機構での対応が優れている

表-10. 過渡変化時における系統内での変動による対応

変動要因	従来機構の対応	本機構の対応	両機構の比較
1. 給気口ガラの閉鎖	影響は大きい	影響は大きいが従来機構より対応性は向上	本機構での対応が優れている
2. 給気風量調整ダンパーの誤動作 (本機構では「負圧調整ダンパー」)	影響は大きい	同 左	差異は無い
3. 空気調和器内の冷却, 加熱コイルの目詰り等	殆どの場合には影響はない	同 左	差異は無い
4. 送風機の誤動作	影響は大きい	同 左	差異は無い
5. ダクト等の給気移送機構の破損	大巾な破損でなければ殆ど影響はない	同 左	差異は無い
6. 各室排気口ガラの閉鎖	影響は大きい	同 左	差異は無い
7. 負圧調整用ダンパーの誤動作 (本機構は「排気量調整ダンパー」)	影響は大きい	同 左	差異は無い
8. 排風機の誤動作	影響は大きい	同 左	差異は無い
9. ダクト等の排気移送機構の破損	大巾な破損でなければ殆ど影響はない	同 左	差異は無い

注) 1. 表中での「本機構」とは、「定排気量負圧制御機構」を言う。

2. 「両機構の比較」における「差異は無い」とは従来機構と本機構が同等の対応状態であることを言う。

以上の比較表のごとく「本機構」は、気体廃棄施設および換気空調施設に求められる主要機能である「負圧および換気量の維持」について従来機構に比べ大巾に対応性を向上させている。

とくに、施設の「定常運転時」における本機構の優越性が高い。

また、両機構の比較で殆ど「差異の無い」対応となる「過渡変化時」では、その「変動要因」の発生原因が「送, 排風機」等の故障事象であるため前述の「3.4-3」, 過渡変化時における系統内での問題」に示すように単独の機器としての措置を必要とする。

5. 負圧維持機構の関連設備

原子力施設における気体廃棄施設および換気空調設備の「負圧維持機構」に用いる「設備機器類」については、「従来機構」の設備で使用してきたものを、「定排気量負圧制御機構」においても採用できる。

しかし、その採用選定にあたっては現在の原子力情勢を踏まえ、かつまた設置される施設の重要度をも十分に考慮して行われるべきである。

設備機器類は、一般に専門メーカーが市販している既製品を殆ど変更することなく採用することが多いが、施設の用途および機器を設置する箇所によっては関連規制法(主には「原子炉等規制法」等)に準じて既製品を大巾に仕様変更しなければならない事もある。

さらに、希ではあるが耐震, 耐蝕, 耐圧等の対応のため全く新たに設計, 製作を起こさなければならない場合もある。

また, 前述「1. 序論」で示すように「負圧維持」を行う目的は, 放射性物質による「汚染拡大防止」のためであり, このことは「原子力安全委員会」により施設建設の事前に行われる「安全審査」での審査指針の, ひとつである「安全機能の重要度分類に関する審査指針」における「異常影響緩和系」の最上位(MS-1)に位置するという事を認識して機構の設計, 製作, 施工等を行わなければならない。

負圧維持機構に関連する対象設備は前述の「3.1 従来の気体廃棄施設および換気空調設備の概要」及び「4.1 定排気量負圧制御機構の概要」に示すほかにも所定の気密度, 耐圧度等を要求される施設建家, 室, セル, グローブボックス等における「隔壁」も重要な機構の構成物である。

しかし本項においては, そのうち本書の主旨である負圧維持機構における「負圧維持制御機構の構成対象設備機器」についての考察, 紹介を行うものである。

対象設備機器 (図-6, 「定排気量負圧制御機構の概略図」参照)

1) 給気系統

- (1) 微差圧発信器
- (2) 指示調節計 (図示には無い)
- (3) 負圧調整ダンパー

2) 排気系統

- (1) 排気量発信器
- (2) 指示調節計 (図示には無い)
- (3) 排気量調整用ダンパー

5.1 設備機器の採用に当たっての留意事項

現在の負圧維持制御機構の構成対象設備は、前述の「序論」で示すように東海研究所のJRR-1（研究用1号原子炉）に使用した設備と殆ど基本的には同じものである。

ただし、当時の設備機器の殆どは国産品が無く米国製であったが、昭和40年頃より国内メーカーが米国等の先発メーカーと技術提携して国産化が進み、現在においては全ての設備機器が国産品で調達可能である。

また、現在の各機器の殆どは性能、信頼性、耐久性等の単体機能は従来に比べ飛躍的に向上しているが、原子力施設用としての専用製品ではないため採用に当たっては、その設備機器が施設の使用目的に沿い、かつまた「原子炉等規制法等」の関係法令に準じていることを十分に確認しておく必要がある。

さらに、検出器によっては被検出部の空気、ガスを導管により遠方に設置した検出器等へ導く場合があるが、この方法は導管および検出器は共に被検出箇所と同等の「放射能汚染重要度」の位置付となるほか、汚染拡大を助長することになり一層の注意が必要である。

なお、このような場合は当該機器の点検、調整、交換時における対応をも配慮が必要となる。以下に原子力施設としての設備機器の採用に当たっての留意事項を述べる。

1. 性能

当該機器の性能は高度であれば、全てよし、とはならない。

一般的に高性能とは、感度がすどく作動誤差が少ないものを言うが、負圧維持機構で使用する場合は、余り感度がよいと動作が頻繁となるため全体の負圧維持制御機構が追随できなくなり制御機構の調和をくずすことが多い。

そのため、当該施設が負圧の維持について求めている内容を良く理解して機構全体のバランスを考えて性能を決定する。

そのうち「指示調節計」については現場での制御状態が従事者には把握できないことが多いため感度や調節動作等が任意に変更できるほかに、付加動作機能（PID、カスケード制御等）付のものを採用することが望ましい。

そのほかに、当該機器に要求されるその他の仕様、例えば耐圧、気密、耐蝕、耐震等の対応のために、本来の性能、機能を犠牲にせざるを得ないことも原子力施設の場合はある。

2. 信頼性、耐久性

他施設に比べて原子力施設の場合はおおよそ一層、この信頼性は要求されるが、全ての施設や区域の規制、仕様が同じレベルと錯覚しないよう注意を要する。

負圧維持は重要な施設の使命ではなるが、その施設の重要度のほか当該する気体廃棄施設、換気空調施設の系統ごとの位置付により相応の対応を心掛ける。

この信頼製とは非常に広い内容をもつもので前述した「性能」の安定維持のため要求される全ての仕様（耐圧，気密，耐蝕，耐磨耗，耐熱，耐湿，耐水，防水，絶縁，防塵，耐震性等）を必要な位置付で満足するもので，その都度十分に確認を行い無駄な過剰仕様をもつ機器を選定してはならない。

3. 関係法令

「原子炉等規制法」等の関係法令の遵守事項を十分に確認する。とくに注意しなければならないものとして当該機器の製作前，製作中，製作後に「国の検査」を受ける必要がある場合は，市販品をそのまま使用するわけにはいなくなり費用からしても大変なことになるので十分に調査，確認を行うこと。

また，「国の検査」のうち当該機器により「溶接検査」を受験する場合は「製作者」は国が認定した「認定溶接工場」でなければならないため一段と影響が大きくなる。

4. 汚染拡大防止

原子力施設の全施設は，放射能汚染拡大を防止しなければならないことは当然ではあるが，例外と盲点となるのが制御，監視機構である。

とくに「制御，監視機構」では放射線管理区域の外に制御盤，監視盤を設置することが多いが，その場合に管理区域内と絶縁しない「導圧管や空气管」を管理区域外へ配管することは厳禁である。

また「ケーブル等の配線」についても管理区域外まで配線する場合は，管理区域の隔壁部で電線管やケーブルダクト類の管内空気の流通が発生しないように適切な方法で遮断，閉鎖処置を施すほか，管，ダクトの隔壁貫通部周囲についても十分な閉鎖処置を施す。

ただし管理区域外に設置した空気圧縮機から「清浄な圧空」を管理区域内へ供給する際は，隔壁部に遮断弁を設けることで対応できる。

これは，その他の供給設備（水，蒸気，消火剤等）についても同じであるが，注意したいのは密閉管路といえども戻り配管（水，蒸気還水等）は原則として管理区域外へ配管してはならない。

とくに注意を要するものとして「真空設備」の場合には，真空ポンプ等を管理区域外へ設置してはならない，この場合は全設備を管理区域内に設ける。

さらに，留意してほしいのは管理区域内といえども区域，区画，室等により「汚染重用度」の違いから負圧度を異にしている施設のばあい，上記と同じく隔壁部で貫通管路に遮断，閉鎖処置を施す必要があることもある。

5. 点検，保守

言うまでもなく当該設備機器の選定については後日の点検，保守が容易にできる構造，機構とし，その設置環境の設定についても十分に留意してほしい。

とくに「国の定期検査」対象設備の場合はなおさらである。

5.2 設備機器

本項で紹介する負圧維持制御機構に用いる設備機器は、ほとんどが従来から使用されているものが主体となるが、前述での「留意事項」に基づいて当該機器類の評価を含めての紹介、説明を行う。

5.2.1 給気系統

一般的に給気系統は汚染の発生が無いが、有っても程度が大巾に低い箇所である。前述のごとく原子力施設の換気空調設備および気体廃棄施設の系統内の気流は、再循環を行わない「全外気供給方式」をとる機構が殆どであるため給気系統は機器内部を含めて汚染が生ずることは希である。

しかし、前述のように負圧度の異常等に起因する逆流事象等の発生時には、換気空調設備（第1種換気方式）と言えど、給気系統のすべてが常に汚染の危険がないとは言えないので、その設備の全てを管理区域外に設置することはできない。

ゆえに「換気空調設備」については、給気ダクトが管理区域隔壁を貫通する箇所に「遮断ダンパー（必要により自動式ダンパーを使用）」を設けて、「空気調和器、送風機等」を非管理区域に設置する場合が多い。

むしろ「第3種換気方式」を採用する「気体廃棄施設」のような場合は、全設備を管理区域に設置するものである。

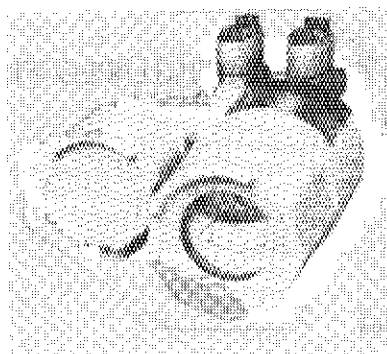
そのため、当該機器がどこに付属するかによって、その対応が異なることは常に念頭において機器の選定を行なう必要がある。

1. 微差圧発信器

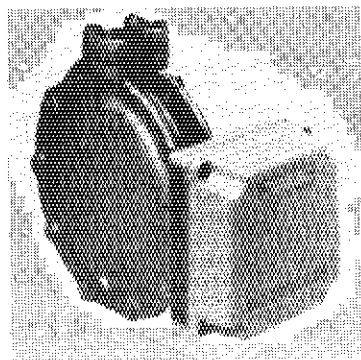
負圧維持を行う箇所の気圧値（当該箇所の気圧と大気圧または周辺気圧と比較しての「差圧値」を言う）を検出して、信号に変えて遠方に送る機器であり当該設備機器の中では、最も重要な機器である。

「差圧」の検知は、差圧によって生ずるダイアフラム（隔膜）の位置変異を検出して電気（アナログ又はデジタル）信号または空気圧信号により出力するものが殆どであり、下記に電気式のうちの電子式および空気式の概要を示す。

1) 機器の外観



[写真-1. 電子式差圧発信器]



[写真-2. 空気式差圧発信器]

2) 差圧発信器の特徴

電子式および空気式発信器は、ともに内蔵する隔膜（ダイヤフラム）の片側に検出気圧、他の側に基準気圧（大気圧または周辺気圧）を導くと、両気圧に「圧力差」が発生した場合にダイヤフラムが変位する。

この「変位」を検出して、その値を空気圧信号により発信するものを「空気式」といい、電気（アナログ/デジタル）信号出力のものを「電気式（現在の殆どの機種は『電子式』である）」と区分している。

発信器は圧力程度の検出を目的としているため、その用途は「オリフィスやピトー管等」を用いての「流速、流量」測定用のほか「液位、密度」の検出機構にも用いられる。

(1) 差圧検出機構

空気式、電気式とも圧力の検出機構はダイヤフラムを用い同じ構造である。空気式はダイヤフラムの変位により「変位検出用空気の放出量」が変わり、その状態を空気圧に変えて発信する機構が『空気式』であり、二次側圧力の圧力差を「圧電素子（ストレインゲージ）」やダイヤフラム変位を「静電容量」の変化により検出して発信するものが「電気式」である。

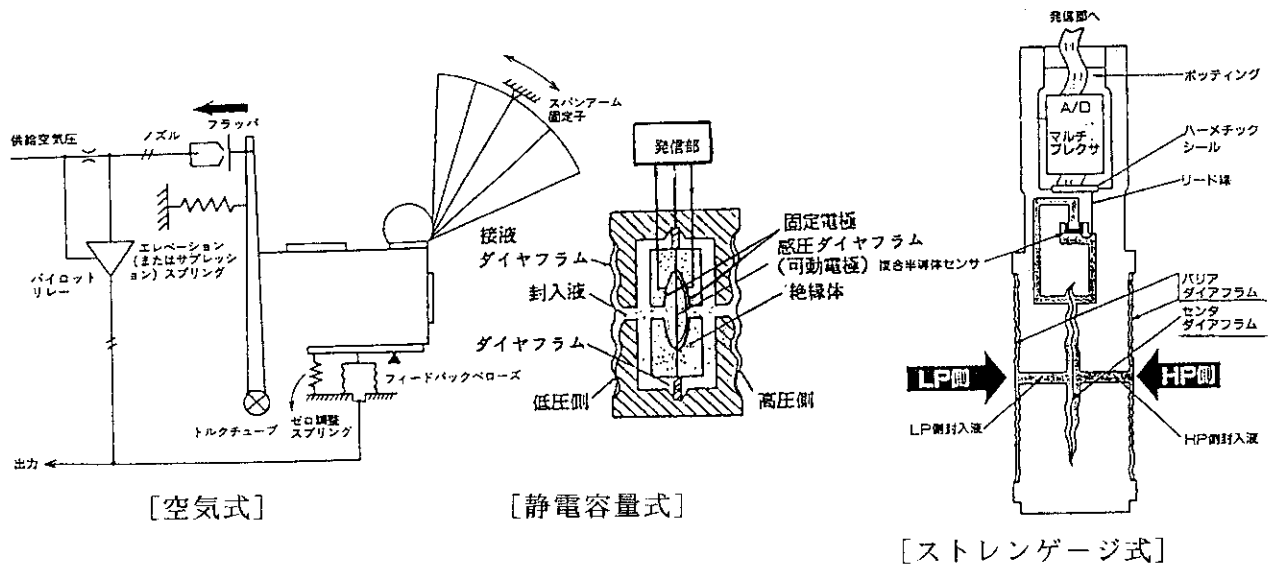


図-7. 機構概略図

(2) 仕様

微差圧発信器として用いられる空気式、電気式差圧発信器の標準的な仕様を以下に示すが空気式は電気式に比べ耐環境性や保守性にすぐれている。

a. 空気式差圧発信器

- (a) 測定範囲 : 0~120mmAq (連続可変)
- (b) 供給空気圧 : 1.4±0.14kg/cm²
- (c) 出力 : 0.2~1.0kg/cm²または3~15psi
- (d) 空気供給量 : 20N ℓ /min以上
- (e) 空気消費量 : 5N ℓ /min以下

- (f) 使用圧力範囲： $-150\text{mmAq}\sim+5\text{kg/cm}^2$
- (g) 使用温度範囲： $-40\sim\pm 120^\circ\text{C}$ （プロセス側）， $-30\sim\pm 80^\circ\text{C}$ （周囲）
- (h) 使用湿度範囲：10～90％RH

b. 電気式差圧発信器

- (a) 測定範囲：0～200mmAq
- (b) 測定スパン： $-100\sim+100\text{mmAq}$
- (c) 出力：4～20mA, DC（アナログ出力）／デジタル出力
- (d) 供給電源電圧：DC16.3～45V
- (e) 使用圧力範囲： $-0.7\sim+0.7\text{kg/cm}^2$
- (f) 使用温度範囲： $-15\sim+65^\circ\text{C}$
- (g) 使用湿度範囲：10～90％RH

(3) 機器の設置

この発信器を使用する場合は、差圧検出箇所が「管理区域内」であることを忘れてはならない、とくに被検出箇所が「セル、グローブボックス、装置機器」の場合は当該箇所の「汚染度が高い」ことを考えての対応が必要である。

以下に微差圧発信器の設置にあたっての留意事項をのべる。

- a. 設置はできる限り負圧維持対象箇所内（室内，セル内）に設ける。
- b. やむをえず対象箇所から外れる場合でも，その近傍とし最短の検出配管とし，必ず「放射線管理区域内」に設置する。
- c. とくに設置箇所は振動の無い場所とし，従事者や他の機器の支障とならない場所に堅固に取り付ける。
- d. 温湿度や腐食性環境の激しい箇所の設置は，できるだけ避ける。
- e. 設置高さは，床面をさげ保守点検がやりやすい高さ（約FL+1.5m）に設け水等が，かからない高さを確保するか，防止処置を施す。
- f. 各検出配管および空気供給配管，出力配管（空気式の場合）の発信器との接続部には，必ず「遮断弁」を設けて本体の取り外しの際に管内に汚染が広がらないようにする。
- g. 各検出配管，出力配管がセル，グローブボックスおよび管理区域の隔壁を貫通なく箇所にも同じく「遮断弁」を設ける。
- h. ケーブル等の配線についても同様の処置を「気密コネクター等」を用いて対処し，電線管等は管内外部を「シール剤等」により遮断する。
- i. そのほかの事項（耐震，気密，耐蝕，耐熱，耐湿，耐爆，防爆，耐放射線，および材質規制）については使用条件，関係法令を調査確認して対処する。

2. 指示調節計

前述の微差圧発信器からの信号（電気，空気式信号）を受けて，その値を表示するほか制御信

号を発信する機能をもつ。

多種、多様なものがあり選定には事欠ないが原子力施設としての使用条件を確認のうえメーカーと十分協議のうえ採用する。

最近の指示調節計は電気式とくに「電子式」が多いが従来から用いられている「空気式」も後述の理由から原子力施設では多用されている。

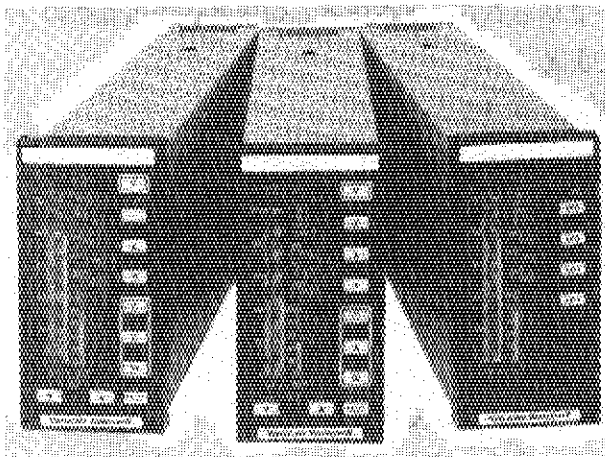
設置箇所は機械室等の現場盤（計装盤，制御盤）に取付け，中央監視盤へは表示信号等を送る方式が一般的である。

電気式調節計の機能は「単機能形とプログラブル形」に分かれるが変動が頻繁な負圧維持機構に用いるものとしては常時の監視，制御ができる「単機能形調節計」が望ましい。

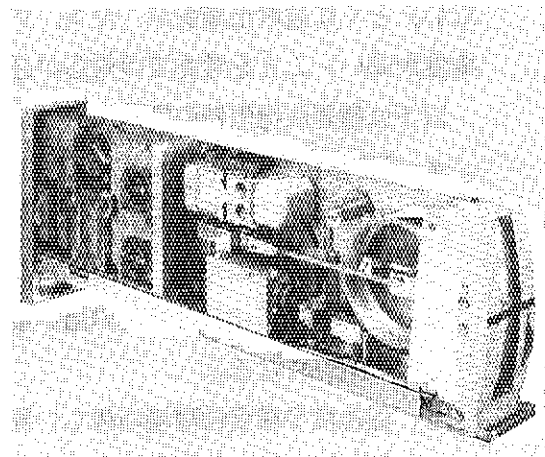
なお空気式では構造的な理由から単機能計のみである。

出力信号の調節動作は，比例(P)，比例積分(PI)，比例積分微分(PID)動作が一般的な機能であるが他に「カスケード動作」を付加したものがある。

1) 機器の外観



[写真-3. デジタル調節計群]



[写真-4. 空気式調節計]

2) 空気の調節計の特徴

空気式の微差圧発信器からの空気圧信号を受けて同じく出力信号を空気圧で発信するものであり，出力を電気信号（電圧，電流，デジタル）にするばあいは別途変換器を付加しなければならない。

入出力信号配管の長さや配管敷設箇所に規制があるので注意を要するほかに原子力施設に設置する場合は前述の「微差圧発信器」と同じく「汚染拡大の防止処置」の必要がある。

(1) 利 点

- a. 原子力施設の換気空調設備における負圧維持機構で給気ダクトに設置の大口径の「負圧調整用ダンパー」を操作する場合は動作性能がよい空気式操作器を用いることが殆どでありダンパー操作器を直接操作できる。
- b. 小規模な計装設備では工事費が低減できる。
- c. 空気信号配管のみでループを確実に構成し，信号絶縁やノイズ対策を必要としない。

- d. 防爆処置を施さなくても爆発性雰囲気での使用が可能。
- e. 電氣的接点部を有していないため腐食性雰囲気でも使用が可能。
- f. 高温、多湿雰囲気でも確実に作動し電気式のような環境の制約が少ない。
- g. 電気式と異なり機能の「突然停止」の発生が少なく信頼性が高い。

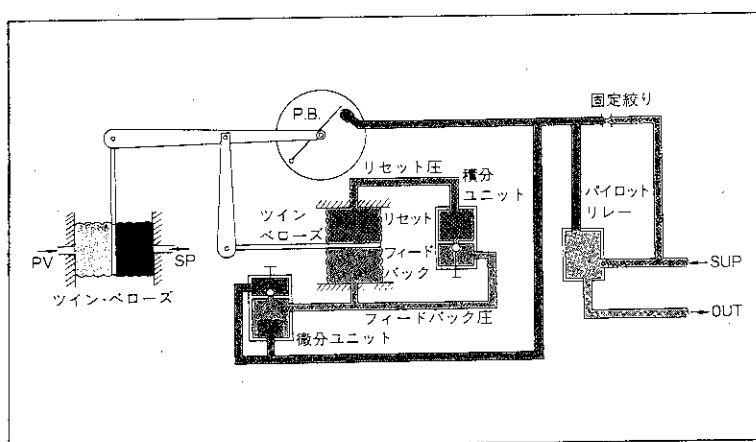
(2) 欠 点

- a. 信号配管の距離が制約される。
- b. 機械的な機構により構成された計器のため調整、保守に熟練を要する。
- c. 信号配管による汚染拡大の可能性が電気式にくらべて高く、配管途中に「遮断弁」の設置を必要とする。
- d. 動作源として別途「圧縮空気源」を必要とする。

しかし、負圧調整用ダンパーの操作器を空気式としている場合は、その圧縮空気を併用することができる。

(3) 空氣的調節計の機構

この計器の機構は、ほとんどが機械的な要素で構成されており圧力検出用のベローズとその作動の伝達、増幅、調節用のリンク機構で構成されている。



P V : 発信器からの
変換信号圧力
S P : 設定圧力
S U P : 供給空気
O U T : 出力空気

図-7. 機構簡略図

(4) 仕 様

空気式指示調節計は「指示記録計付調節計」も作られているが、一般には調節計と指示計とが一体の構造のものが用いられているのでその仕様を示す。

a. 調節動作

- (a) P (比例) 動作
- (b) PI (比例, 積分) 動作
- (c) PID (比例, 積分, 微分) 動作
- (d) PIバッチ動作

b. 入出力

- (a) 入 力 : (空気圧) 0.2~1.0kgf/cm²

- (b) 出力：(空気圧) 0.2~1.0kgf/cm²
- c. その他
 - (a) 表示部：フルスケール指示, 偏差指示
 - (b) 設定部：ローカル形, カスケード形
 - (c) 供給空気圧：1.4kgf/cm²
 - (d) 出力空気容量：50Nℓ/min

3) 電気式調節計の特徴

最近の計器は「マイクロプロセッサ」を搭載した「デジタル調節計」が殆どであり「中央制御監視機構」への接続構成が容易な機能をもっている。

調節計は機能的には、空気式と比べて各種の制御機能をもつほかに補助機能の付加が容易な計器である。

一般には多数の演算、入出力点数をもつ「プログラマブル調節計」と制約された機能の「単機能型調節計」とに大別される。

(1) プログラマブル調節計

プログラム機能をもち各種の制御、演算ができる調節計であり一般的には以下の機能をもっている。

- a. 制御機能
 - a) 比率制御 (PID制御を含む)
 - b) カスケード制御
 - c) 出力切換制御
 - d) フィード・フォワード制御
- b. 演算機能
 - a) 演算ユニット数：30個以上
 - b) 演算式：45個以上 (信号演算, ロジック演算, 制御演算)
 - c) 可変パラメータ：10個以上
 - d) 固定パラメータ：任意個数
- c. 入力部
 - a) アナログ入力：5~7点 (DCI~5V)
 - b) デジタル入力：4~6点
- d. 出力部
 - a) アナログ出力：電圧2~3点, 電流1点
 - b) デジタル出力：4~6点
- e. 表示部：入力表示, 出力表示, 異常表示, モード表示

(2) 単機能計調節計

上記のプログラマブル調節計よりも機能は制約されるが PID制御主体のデジタル調節計で

あり、1ループ毎にマイクロプロセッサがあるために制御ループの独立性が保持されるほかカスケード制御も可能であり電気式調節計のうちでは負圧制御用としての使用が多い。

- a. 制御機能
 - a) ノーマルPID制御
 - b) 測定値微分形PID制御
 - c) ギャップ付PID制御
 - d) 比率設定付PID制御
 - e) カスケード制御
 - f) 外部フォロワー制御
- b. 付加機能
 - a) 開平演算
 - b) 入力線形化
 - c) デジタル・フィルタリング
 - d) アラーム
 - e) 出力リミッタ
 - f) オート・バランス・モード切換
- c. 入力部
 - a) アナグロ入力：2～3点 (DC1～5V)
 - b) デジタル入力：2点
- d. 出力部
 - a) アナグロ出力：電圧1点，電流1点
 - b) デジタル出力：3～4点
- e. 表示部：入力表示，出力表示，異常表示，モード表示

4) 計器の設置

前述のごとく空気式調節計と電気式調節計とは機能，機構的に大きく異なる。

そのため原子力施設の負圧制御（この調節計は「負圧制御と排気量制御」のそれぞれの表示調節計として使用できる）に用いる場合は以下に示す留意事項を参考にしてほしい。

(1) 小規模施設で汚染重用度が低い施設

小規模施設で高度の負圧維持を行わなくてもよい施設では圧縮空気の供給源がない場合が多く，その場合負圧調整用ダンパーの操作を電動で行わなければならない。

このような施設では「電気式調節計」のうち単機能計の設置が適している。

ただし，電気式であるため空気式に比べ環境に敏感であり空調が十分でない機械室に設置することは避けるべきである。

また計器間の信号の応答速度は高いが負圧調整用ダンパーの操作器が「電動式」となり，ダンパーの動作速度に合わせた信号発信速度に協調させる調整操作を必要とする。

(2) 小規模施設でも汚染重用度が高い施設

一般に汚染重用度が高く施設規模が小さい場合は、負圧度の変動要因が多く、最も汚染の拡大の恐れが高い施設であることが多い。

そのためダンパーの動作速度の早い空気式操作器を使用せざるを得ないので圧縮空気源の設置を必要とする。

ゆえに、この場合の調節計は空気式を採用することも必要となるが前述の「5.1.4) 汚染拡大防止」での対応を配慮する。

(3) 大規模施設で汚染重要度の低い施設

一般的には負圧度が安定している施設であるが、負圧維持対象箇所が多く設備として複雑となる。

また、このような施設では「中央監視設備」を設ける例が多いので電気式のうちプログラマブル調節計を用いる機構が経費節減のうえからも得策である。

この場合には「分散型情報管理総合制御システム」への組込みが容易であり均整のとれた整備となる。

なお大規模施設の場合は「圧縮空気源」を設置するためダンパー操作器は「空気式」を用いて操作器付属ポジションナーは電気式/空気式形(I/Pポジションナー)の使用により制御性を高める。

(4) 大規模施設で汚染重要度が高い施設

この場合の施設は原子力施設のうち原子炉施設、再処理施設等が該当するもので気体廃棄施設および換気空調設備が多系統設置される施設である。

このような施設の場合のダンパー操作器は空気式を用いて動作速度を高める必要があるが、調節計も空気式であると汚染拡大の可能性が高くなるほかに、信号配管の設置スペース等の制約をうけるため、電気式調節計のうち負圧度の変動要因が高い系統には「単機能形調節計」、負圧度の安定度が高い系統には「プログラマブル調節計」を採用して、ダンパー操作器には上記のI/Pポジションナーを付属させる。

なお電気式調節計の設置には周辺環境の設備のほか電氣的ノイズ(共調波を含む)の侵入、発生の防止を計るほか空気式より頻度の高い点検、調整を心掛けるべきである。

3. 負圧調整用ダンパー

本ダンパーは、前述の「指示調節計」から信号(電気、空気圧信号)を受けて当該箇所(微差圧発信器での差圧検出箇所)の負圧度を維持するため給気風量を調節する自動制御ダンパー(調節弁)をいう。

従来機構において、当ダンパーは排気系統に設置され排気風量の調節を行っていたもので機構的には全く同じものである。

しかしダンパーの設置系統が、汚染の可能性が低い「給気系統」に変わることによりダンパー

装置に要求される仕様が大中に緩和されるほか保守、点検が容易になる等の効果が生ずる。

なお、原子炉施設における「原子炉格納容器（原子炉格納施設も含まれる場合がある）」や汚染重要度の高い箇所の「隔壁等」のダクト貫通部に設置する「隔離弁及び遮断弁」に使用されるダンパーは本項で述べるダンパーには該当しない。（上記の隔離弁、遮断弁に関しては著者が別途作成したJAERI-Mレポート、「原子力施設における換気空調設備の隔離弁、遮断弁（ダンパー）の選定と管理」を参照されたい。）

負圧調整用ダンパーは構造的に上記の隔離弁等のように高度の仕様を要求されることが少ないため殆どの施設では市販のダンパーを採用することが可能である。

また付属のダンパー制御装置については「操作器と制御器」とに大別されるが負圧変動要因が多く変動が頻繁となる施設は空気式操作器の使用が望ましい。

1) ダンパーの選定

気体廃棄施設および換気空調設備に使用する「負圧調整用ダンパー」は、原子力施設の負圧維持の『かなめ』となる機器でありその選定は施設の安全性に大きな影響を与える。

また原子力施設では、汚染の閉込め及び施設内の環境維持のために常時「気体廃棄施設および換気空調設備」を運転する必要があるため、当ダンパーは常時「気流」に晒される環境下にある。

さらに換気空調設備における給気系統は「温湿度」の変化が大きい環境下であるためダンパーの選定は以下に述べる留意事項を参考として行ってほしい。

(1) ダンパー型式

一般に、当ダンパーを設置するダクトは多量の空気等の流路であるため、大口径となるが、「ダンパー口径」は、ダンパーの「制御値」に適したものを選定することが原則であるが、ダクト内の風速は、一般に6~15m/secでありダンパーをダクト口径より大中に小さくすると、ダンパー部の風速はさらに高速となり弁体からの「振動発生」のほか、腐食等の「劣化が増進」するなどの不利益が大きくなる。

またダクトより大口径にすることは不経済であるほか、制御性も低下し、ダクト、ミスト等の付着、沈滞が大きくなる。

ゆえに「負圧調整用ダンパー」は制御値と風速とを考慮して選定を行うほかに、下記の諸条件を満たすものが望ましい。

- a. 弁体構造でできるだけ単純なもの。
- b. 気体流量制御性のよい弁型式、弁体とする。
- c. 弁体、操作器ともに小型、軽量であること。
- d. ダクトへの着脱が容易な接続部をもつもの。
- e. パッキン、ガスケット等の消耗材の使用が少なく、その交換が容易。
- f. 耐久性が高く経済的なもの。

(2) 気密性

負圧調整用ダンパーは隔離弁、遮断弁用のダンパーと異なり弁体および弁前後（弁座間）の気密性をあまり必要としない。

しかし弁体から外部への漏洩は原則としてあってはならない、その程度は当該給気系統の最高使用圧力（送風機の最高圧力）の1.5倍の気圧下で石鹼液（モンジュ液）塗布部からの発泡が生じない程度（漏洩量、約 10^{-2} Atm, cc/sec程度）の気密程度は必要である。

(3) 耐圧性

ダンパーの耐圧性は、前述の「気密性」と相関関係にあり、このダンパーの場合は弁体外部との耐圧を必要とする。

一般に負圧調整用ダンパーは市販の既製品を仕様することが殆どであるが、製造者はダンパーを多目的用途に対応できるように製造販売しているため製品の耐圧度は当該給気系統の最高仕様圧力より遙かに高い値をもっているのが普通である。

しかし、この圧力は製造者により前述の「気密度」を担保できなくなる圧力値を表示しているものと、弁体の一部に「塑性変形（降伏状態）」が生ずる圧力値を示す場合とがあるので十分に確認を行うこと。

とくに弁体の「塑性変形」を耐圧度としている場合は「気密度」担保の圧力値を製造者に確認してダンパーの設計仕様を満足できているかを確認する必要がある。

この「耐圧度」の最低値は、当該給気系統の最高使用圧力の1.5倍以上の値でなければならない。

また最高使用圧力の決定においてはダンパー設置箇所が大気圧と異なる場合は、その差圧を最高使用圧力値に加算すること。

(4) 耐震性

原子力施設の耐震は「建築基準法」で定める耐震性をさらに強化して、その適用を細分化した耐震設計指針である「発電用原子炉施設に関する耐震審査指針について（昭和56年原子力安全委員会）」に基づく。

また現在は試験研究炉施設、核燃料物質取扱施設についても同指針を準用している。

負圧調整用ダンパーについても同指針は準用されるため、その適用内容を十分に確認するとともにダンパーは操作器を含め小型、軽量で強固（剛体）なもので構造の簡素なものを採用するよう心掛ける。

(5) ダンパーの構造

この項で述べる「ダンパーの構造」とは、前述した各項に示す諸条件、留意事項のほかに弁本体部（弁、弁座）の望ましい構造について示す。

一般に弁は流路の開閉、流量の調節を目的として設けるものであるが、負圧調整用ダンパーは流路の閉鎖を必要としない調節弁である。

そのため調節動作を目的とした市販の既製品は多種あるが選定条件を以下に示す。

- a. 弁体、弁座共に単純な形状構造であること。

- b. 構造的には軽量であること。
- c. 流れ方向を屈曲，反転状態にしないもの。
- d. 弁座部に弁体が片当たりすることのないもの。
- e. 弁体，弁座部に局部磨耗が発生しないこと。
- f. 流体により弁体が振動しないこと。
- g. 弁内部にダスト，ミスト等の沈着が発生しにくい構造であること。
- h. 弁体，弁座に傷の発生しにくい材料を使用しており，傷等の補修が容易なもの。
- i. 弁体が作動するときに必要な操作力が小さいもの。

(6) 調節弁の種別と流量特性

現在において市販されている調節弁は多種多様なものがあるが，原子力施設の気体廃棄施設および換気空調設備の負圧調整用ダンパーに適していると思われるものを以下の表により述べる。

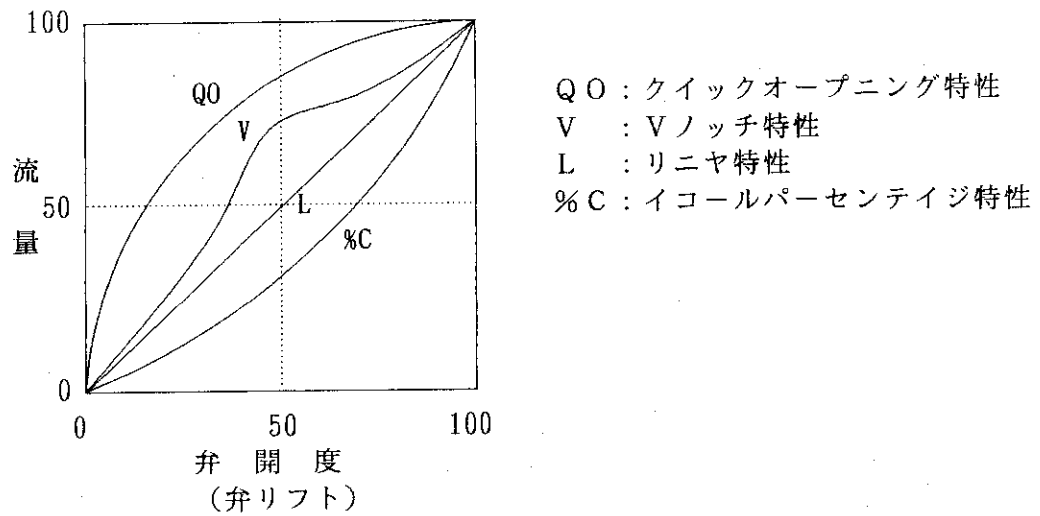
なお弁の「流量特性（弁の開度量に対する流量変化量）」については，リニヤ（弁軸の開きと流量が正比例する），イコールパーセンテージ（弁軸の開きに対して流量が一定率で変化する），Vノッチ（前述の二特性の中間的なもの）及びクイックオープニング（弁軸が動作すると，すぐ流量が急激に増加するもの）特性の四種類が一般的であるが，どの特性をもつ弁を選定するかは，製造者の担当者と十分協議をおこなう必要がある。

表-11. 調節弁の種別と特徴

型 式	弁 座	適用口径	流量特性	レンジアビリティ	用 途
球 形 弁	複 座	150Aまで	L, %C	30~50 : 1	主に制御弁として用いられ完全閉鎖はできない
	単 座	25Aまで	L, %C	30~50 : 1	弁の閉鎖性がよい
三 方 弁	複座単座	150Aまで	L	30 : 1	流体の分流，混合に用いる
ア ン グ ル 弁	単 座	50Aまで	L	30 : 1	流体に固形物（ダクト等）を含むときに腐蝕を少なくし堆積物をも少なくできる
ベンチュリー弁	—	150Aまで	L	30 : 1	高粘度はまたは高速の流体
サンダース弁 (ダイヤフラム弁)	—	150Aまで	L	20 : 1	高粘度はまたは腐食性ガスの場合
バタフライ弁	—	大口径用	%C	20 : 1	大口径管路に適しているが閉鎖性は悪い
多 翼 弁	—	大口径用	%C	10 : 1 以下	一般に低圧の角型の空気流路（ダクト）に用いるが閉鎖性は全く無く弁外部との気密性も低い

- 注) 1. 本表での型式は現在，調節弁として多用されている一般的な弁のみを提示した。
 2. 適用口径についても一般的な区分としたが表示以外の口径でも市販されている。
 3. 流量特性についても弁体，弁座の形状を変えることにより特性変更ができる。
 (ただしサンダース，バタフライ，多翼弁を除く)

表-12. 調節弁の流量特性図

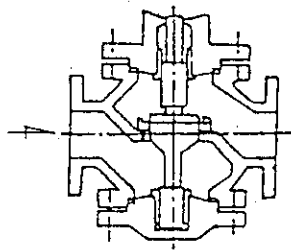


- 注) 1. 調節弁の流量特性は上記表で示した完全な双曲線にならない事が多い。
 2. Vタッチ (V) 特性 (ボール弁が該当) は図表のグラフと逆対応もある。
 3. 各特性グラフの「山」ポイントは弁により全て異なる。

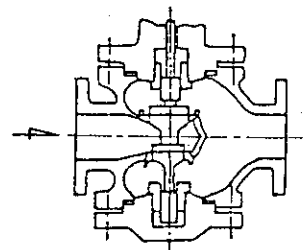
(7) 調節弁の断面構造

下図に各調節弁の一般的な弁構造を示す。なお流体の「流れ方向」は全て左方向より右方向または下方向へと流れる。

a. 球形弁

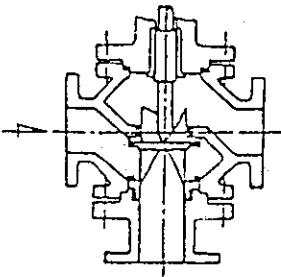


(単座弁)

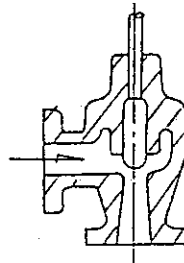


(複座弁)

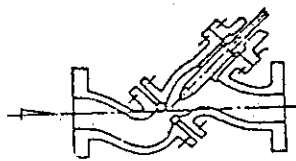
b. 三方弁 (単座分流弁)



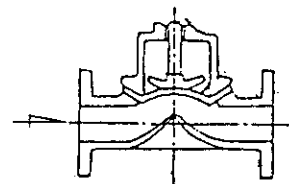
c. アングル弁



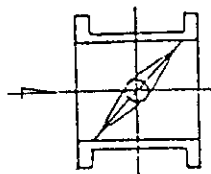
d. ベンチュリー弁



e. サンドース弁
(ダイヤフラム弁)



f. バタフライ弁



g. 多翼弁

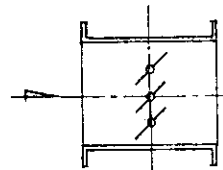


図-8. 弁の断面構造

(8) 操作器および付属機器

調節弁の「操作器」は入力信号により調節弁を所定の開度にするためのものであり、一般には開度設定器（ポジショナー）と組合わせて使用される。

そのため操作器は次に示す条件を満足しなければならない。

a. 操作器の必要条件

- a) 弁軸に働く不平衡軸進力に対抗できる十分な「出力」があること。
- b) 弁のリフトまたは回転に対して十分な「ストローク」があること。
- c) 弁の締切に必要なシート面圧を得られる出力があること。
- d) 必要な時間内での動作ができること。

また、操作器の作動動力源は圧縮空気（圧空）を用いるものが広く用いられているが、その理由としては電気式、油圧式に比べきて下記の利点がある。

b. 空気式操作器の利点

- a) 同じストロークを発生させる場合の所要時間が大巾に短い。
- b) 高出力が容易に得られる。
- c) 操作器の構造が簡単で製作が容易である。
- d) 本体重量が電動式に比べ軽量である。
- e) 圧空の漏洩が生じても周辺を汚染しない。

とくに換気空調設備の負圧調整用ダンパーは大口径弁が殆どであり、弁リフトが大きく瞬時の動作が要求されるため空気式操作器の使用が望まれる。

しかし、別途に圧縮空気源を必要とする欠点があるが、原子力施設としてはその他の用途（他の装置の操作用、実験用、除染作業用等）として殆どの施設が圧縮空気源を設置しているので、その併用ができる。

そのため本項では「空気式操作器」についてのみ紹介する。

c. 空気式操作器

a) スプリング形ダイヤフラムモーター（HA操作器）

空気式操作器の中で、汎用操作器として広く用いられ「ダイヤフラム室」の空気圧力と付属スプリングの反力で、所定の弁開度を保つ。

供給空気圧力は1.4～4.0kgf/cm²であり、「正動作（駆動源故障時または操作空気喪失時に弁が開放する動作）」および「逆動作」ができる操作器。

b) スプリング形ピストンモーター（スプリング形G. O操作器）

主として大きなストロークを必要とするバタフライ弁等の操作器として用いられ、最近では正、逆動作形の操作器がある。

出力はダイヤフラムモーターと同じシリンダー面積に比例するが、ピストン、シリンダー間の摩擦抵抗がダイヤフラムモーターに比べて大きく有効出力は20～30%低減するほかに調節用を使用する場合は付属ポジショナーを必要とする。

c) スプリングレス形ピストンモーター（スプリングレス形G、O操作器）

ピストンの両側の空気圧を増減して所定の弁開度を保つ複動形であり、高出力、高ストロークが得られる。

しかし操作空気停止時には現状位置で操作が停止する「無定位性」があるため採用には「エアリーレ」を組合せたバックアップの対応を取る。

d. ポジショナー

調節弁の機能を拡大し、その性能を向上させる主な付属機器として「開度設定器（ポジショナー）」がある。

一般にポジショナーは操作器に付属して取付けられ、ポジショナーからの信号が最短距離で操作器に伝達できる機器の構成となる。

ポジショナーの動作は、前述の「指示調節計」からの信号を受けて、その信号を変換、増力して最良の状態で作動させるよう機能する。

型式はポジショナーの入、出力信号が空気圧だけのものを「空気式（空／空）ポジショナー」といい、入力信号が電気で出力信号が空気圧のものを「電気／空気式（電／空）ポジショナー」との二種類がある。

ポジショナーの設置は、次の各項のどれかに該当する場合は考慮すること。

a) 設置を必要とする場合

- (a) 正確な制御を必要とするとき。
- (b) 指示調節計からの信号圧力と操作器の操作動力および圧力が異なるとき。
- (c) 操作器の操作動力源の停止時の弁動作と入力信号の動作が異なるとき。
- (d) 弁の流量特性を変化させたいとき。
- (e) 指示調節計からの信号が電流で操作器が空気式のばあい。
- (f) 複動形操作器を使用するばあい。

b) 設置が望ましい場所

- (a) 弁、操作器のグランド部の摩擦抵抗が大きいとき。
- (b) 流体がスラリー状のばあい。
- (c) 流体の粘度が高いとき。
- (d) 弁、操作器の摺動抵抗が大きいとき。
- (e) 指示調節計から弁操作器までの距離があるとき。

2) ダンパーの設置

原子力施設における気体廃棄施設および換気空調設備の負圧調整用ダンパーに使用する自動制御ダンパー装置（調節弁、操作器、ポジショナー等を含む）は前記の「1) ダンパーの選定」にしたがい採用することが望ましい。

なおダンパーの制御機構による設置区分は前述「5.2.1-2.4) 計器の設置」の当該事項によるものとする。

そこで本項ではダンパー装置の設置箇所および場所について述べるものとする。給気系統に設置する負圧調整用ダンパーは前述のように法的な重用度、規制度が高い「隔離弁、遮断弁」には該当しない。

しかし、「1. 序論」でも述べたごとく放射能汚染の拡大防止機構（異常影響緩和系）の主要施設であり、その重用度は同等と考えられたい。

以下に本ダンパーの設置条件を述べる。

(1) 設置箇所

- a. 給気系統に設置する場合でも本ダンパーの下流側には隔離弁、遮断弁を設け、負圧維持箇所からの汚染の逆流が防止でき本ダンパーが汚染しないこと。

（汚染重用度の低い施設または箇所であれば手動式遮断弁でもやむを得ない）

- b. 本ダンパーの設置は「微差圧発信器」と対で、原則として負圧維持対象箇所毎に設け、負圧度が同じ箇所を纏めて1台のダンパーで対応させることは有ってはならない。

それは前述したように各箇所の負圧変動要因が異なり、その発生の度合いや程度が全て異なるからである。

やむをえず、このような対応を行うばあいは、汚染重用度が低い各室の隔壁等の気密性が低い施設の場合のみとして、各室のうち最も汚染重用度が高い室を選定して当該室に「微差圧発信器」を設けて主たる排気を当該室より行い、他室の排気を吸引する機構とする。

- c. 本ダンパーは負圧維持箇所に設置するのではなく当該箇所の隔壁の外側、すなわち当該箇所より汚染重用度の低い箇所に設置する。

一般的には「隔壁」としては次のものが上げられる。

- a) セル、グローブボックス等の遮蔽壁、気密容器
- b) 溶液貯槽等の密封容器
- c) 気密を必要とする実験室および装置室の壁
- d) 重用な複数の室を纏めて囲っている区画壁
- e) 管理区域の外壁

d. 補完事項

- a) 連続運転を求められる系統の場合は、本ダンパーの交換、点検が容易にできるように、本ダンパー廻りに手動弁によるバイパス装置を設けることが出来れば最上である。
- b) ダンパーの点検および修理には製造者の専門技術者を必要とするところが多いので、放射線管理区域での作業が速やかにできるように事前に「放射線作業従事者」としての手続を済ませておくよう製造者に求めておく。

(2) 設置場所

負圧調整用ダンパーの設置箇所が決定しても具体的にダンパーを設ける場所については、その重要性に鑑み可能なかぎり良好な環境を確保できる所を設計計画時に選定する必要がある、次にその条件をしめす。

- a. 可能なかぎり放射線管理区域外であること。
- b. 耐震クラスB以上を要求されるダンパーの場合は、ダンパーの支持が単独で建家躯体から行える空間を有すること。
- c. ダンパーの交換、補修、点検時にダクトからのダンパーの着脱ができる空間を有すること。
- d. ダンパーの着脱が容易にできるようにチェンブロックの装着ができる「天井フック」を事前に設けておく。
- e. 保守、点検等が容易にできるように「ステージ、階段」等を設けるか、仮設できる空間を確保しておく。
- f. 諸作業、検査等において隣接する他の工作物が障害とならない配置とする。
- g. 諸作業、検査等に利用できる照明、コンセント設備を近傍に設けておく。
- h. ダンパー装置の劣化を促進する雰囲気ではなく、適度の換気、除湿、調温等が計られている場所に設置するものとし、換気等の行われていない地下二重スラブ等に設置することのないよう留意する。
- i. ダンパー装置を搬出入できる通路、空間があること。

5.2.2 排気系統

「定排気量負圧制御機構」においては、給気系統の負圧度の維持を行い、排気系統では負圧の発生と排気風量の一定維持を目的として設置する。

排気系統は前述した給気系統と異なり、系統の殆ど（少なくとも排気処理用の「高性能フィルター」まで）が汚染空気または汚染ガスの流路となり、その流路の圧力は排風機までの系内は負圧であり、以降は正圧に変わる。

そのため当系統に使用する設備機器は、給気系統や他の一般施設での使用条件のほかに放射能汚染下での条件を加味する必要がある。

本項での対象機器は「排気量発信器、指示調節計、排気量調整用ダンパー」の三機種であるが「排気量発信器」を除いては給気系統で述べた機器と殆ど違いはないので、その他の機器については、本項では排気系統での使用にあたって特異な仕様、留意事項のみを述べるものとする。

1. 排気量発信器

この機器は一般には「流量計」といい、当該系統の排気風量の計測を行い、その値を外部に発信する計測器であるが当制御機構では、その計測値を指示調節計に送り「排気量調整用ダンパー」を作動させて定排気量を維持する。

この流量発信器は前述の微差圧発信器と異なり使用実績が長く、機器種別も多種多様であり現在も新しい測定原理にもとづく新製品が開発されている。

しかし原子力施設での気体廃棄施設および換気空調設備に使用するものは一般施設での使用条件のほかに次に述べる条件を十分に満足できるものでなければならない。

1) 定排気量負圧制御機構における排気量発信器の条件

- (1) ダクト内に計測部を設置または挿入する形式のものは放射能（一般的にはダスト、ミスト等）の付着が少なく、放射能の除染（水洗、蒸気洗、拭きとり等）が容易な材質、構造のもの。
- (2) 計測部の点検、調整のため当該部を取外したり、従事者がダクト内に頻繁に立入る必要の無い信頼性の高いもの。
- (3) 計測部が気密構造であること。
- (4) 機器の耐震性が高いものか、耐震対応が容易なもの。
- (5) 耐蝕、耐熱性の高いもの。
- (6) そのほかに前述「5.1 設備機器の採用に当たっての留意事項」での当該事項による。

2) 計器の設置

この発信器を採用する場合、流量検出箇所が管理区域内の汚染の可能性のあるダクトに設置することを忘れてはならない。

とくに被検出箇所が「セル、グローブボックス、装置機器等」の排気系統の場合は、当該箇所の汚染度が高いことを考慮して対応しなければならない。

以下に排気流量発信器の設置に際しての留意事項を述べる。

- (1) 流量（流速）の検出箇所は原則として「高性能フィルター」の下流とし、測定器の汚染を少なくする。
- (2) 測定箇所は、できるかぎりダクト内の気流の「整流部（一般には上流について、ダクト径の5倍以上とし、下流ではダクト径以上の直線ダクト部）」に設けることを原則とする。
- (3) 当該する整流部が無い場合は、できるかぎりダクト断面を均等割した「多点測定」をおこない正確な流量値を検出する。
- (4) 測定箇所の気流の整流度を向上させるために各種の整流装置を設けることは、後日の除染作業に支障を来すため、できるだけ設置しない。
- (5) ピトー管方式の測定器のばあいは、検出圧導管をダクト外にまで配管するが、この場合の導管は当該ダクトと同じ位置付となり、発信器までの範囲が汚染の可能性が生ずるばかりか、法的な規制もダクトと同等になる。
- (6) 上記の導管は金属管を使用し、発信器までの距離をできるかぎり短縮することを原則とする。
- (7) 上記、導管途中には遮断弁を設ける。
- (8) 電気式測定器でも配線がダクトを貫通するばあいは、ダクト部に気密コネクター等を設ける。
- (9) その他の事項（耐震、気密、耐蝕、耐熱、耐放射線および材質）については使用条件、関係法令を調査確認して対処する。

3) 流量計の種類

流量は流体の流速を計測して、その流速と流体断面積との積により求まるものであり、流体断面が不動であれば流量計は流速計と同じものである。

この流体速度の計測は長い歴史をもち多様な原理により、多種多様な流速計が開発されており、現在も新しい理論による方式のものが多数、製品化されている。

しかし本項では現在において、原子力施設で一般的に使用している流速計について述べるものとする。

(1) 流速測定の方法

a. 差圧式

流速測定原理としては最も古いものの一つであり、航空機の速度測定用として発達した「ピトー管」方式が代表的なものである。

この測定原理は流路の圧力を静圧と動圧とに分けて測定し、その「差圧」により「ベルヌーイの定理」から流速を算出するもので、同じ原理により測定する機構として「オリフィス」方式がある。

この方式は機械的な方法としては理論的にも優れたもので、機構も簡単なものであり信頼性、耐久性も高い。

b. 面積式

流路（一般にはテーパ管による測定部を用いる）に「フロート」を入れて測定流体を下方から上方へ流すと、フロートは流体の密度、流速により上方へ移動する。

この原理を利用して「フロートの変位量」を測定することにより流速測定を行うものであるが、測定機能の全てにおいて差圧式より大巾に劣るため簡便な流速測定用として使用することが多い。

この測定器は一般には「ロータメーター」といわれて市販されている。

c. 動圧式

面積式と似ているが、流路の中央に流体に対して直角に設けた「ターゲットプレート」には流速の二重に比例した力が作用するので、その作用力を測定して流速を知るものである。

この測定器の特徴は面積式と同じく高精度の測定は期待できない。

d. 渦式

流路の流体に対して直角に置かれた「円柱、三角柱」から下流に発生する渦（カルマン渦）の発生頻度（周波数）を測定することにより流速を測定する。特徴は広範囲な流速測定が可能であるほか、可動部や測定口をもたないため耐久性が高く、検出部の清掃をあまり必要としない。

e. 電磁式

近年、開発された測定器では最も多用されている測定器のひとつで、流路の外側に「電磁コイル」を置き、流れと直交した磁界をつくると、流れ方向および磁界と直角方向に流

速に比例した超電力が発生する（ファラデーの電磁誘導の法則）ため、この超電力を測定することにより流速を知ることができる。

この方式は流路内に測定部をもたず、前述した他の測定器にはない特徴をもつもので耐久性、保守性に優れている。

しかし、この方式は原理上、流体が一定値以上の導電率をもつものしか測定ができない制約をもち、空気の場合は使用できない。

また導電性をもつガス体でも、ガス濃度や成分が変化する場合は測定誤差が大きくなり使用できない。

f. 熱 式

前述の電磁式と異なりガス体のみの流速測定用として開発されたもので、流路に直角に挿入した「熱電対」が流体により熱を奪われる量は流速に比例するとの原理を利用した測定方式である。

特徴は低流速での測定が可能であるほか圧力、温度、成分の変化が生じて精度の高い測定ができる長所をもつ。

また測定器を小型化することが可能なため、可搬式測定器としても従来から使用されている。

g. 超音波式

理論は古くからあったものであるが、測定器としては最近開発された方式であり、二方式に分類される。

この方式も電磁式と同じく、流路内に測定部を突出させない機構であり流路の圧力損失が無いほかに保守性が高いなどの特徴をもつ。

a) 音 速 式

「超音波」が流体内を伝播する速度は、流体の速度に一定の影響をうけるため、この伝播時間を測定して流速を知るものである。

b) ドップラー式

振動源と計測点の相対運動によって音、光等の周波数が変化する「ドップラー効果」を利用する測定方法である。

h. 容 積 式

前述した他の流速計と異なり、流量を直接測定する方式であり、最も機械的な流量計である。

一般的には「楕円（オーバル）歯車か、繭形（ルーツ）回転子二個」を組合わせて、流体が通過する際に生ずる回転子の回転を計測して流量を知る方法であるが、保守性が悪いほか抵抗が大きく、精度にばらつきが生ずる等の欠点があるため現在は殆ど使用されていない。

i. 翼 車 式

流路内に「羽車」を入れ、その回転数により流速を計測する方法で機械式測定器であ

る。

容積式と同じく保守性が悪いほかに抵抗が大きく、精度にばらつきが生ずる等の欠点があるが、構造が簡単で安価なため現在でも広く使用されており水道メーター等にも多く用いられている。

また小形化が容易なため簡便な可搬式も用いられている。

4) 流量計の概要一覧 (表-13)

形 式	対象流体	計測誤差	使用管径	出力信号	そ の 他
差 圧 式 (オリフィス, フローノズル, ベンチュリー型)	気体, 液体, 蒸気	FS1~2%	20A 以上 無制限	電気, 空気	1. 高, 低温使用可 2. 圧力損失あり 3. 測定部に直管部が必要
差 圧 式 (ピトー管型)	気体, 液体,	FS4%	無制限	電気, 空気	1. 高, 低温使用可 2. 測定部の直管部はオリフィス型より極めて少
面 積 式	気体, 液体, 蒸気	FS1~2%	10A~200A	電気, 空気	1. 高, 低温使用可 2. 圧力損失あり 3. 測定部に直管部が必要 4. メーターの直読可 5. 高粘度液体の測定可
動 圧 式	気体, 液体, 蒸気	FS1~2%	100A以下	電気, 空気	1. 高, 低温使用可 2. 圧力損失あり 3. 測定部に直管部が必要 4. スラリー混入の液体の測定可 5. 高粘度液体の測定可
渦 式	気体, 液体, 蒸気	FS1%	250A以上	電気	1. 高, 低温使用可 2. 圧力損失あり 3. 測定部に直管部必要 4. スラリー混入の液体の測定可 5. 高粘度液体の測定可
電 磁 式	導電性液体	FS1%	無制限	電気	1. 高, 低温使用可 2. 圧力損失あり 3. 測定部に直管部不要 4. スラリー混入の液体の測定可 5. 高粘度液体の測定可
熱 式	気体	FS2%	無制限	電気	1. 高, 低温使用可 2. 圧力損失あり 3. 測定部に直管部不要
超 音 波 式 (音速 ドップラー式共)	気体, 液体, 蒸気	FS1%	50A以上	電気	1. 高, 低温使用可 2. 圧力損失あり 3. 測定部に直管部不要 4. スラリー混入の液体の測定可 5. 高粘度液体の測定可 6. 測定用の専用管が不要
容 積 式	気体, 液体, 蒸気	FS1%以下	20A~200A	電気, 空気	1. 高, 低温使用可 2. 圧力損失あり 3. 測定部に直管部不要 4. スラリー混入の液体の測定不可 5. 高粘度液体の測定可 6. 測定用の専用管が不要
翼 車 式	気体, 液体, 蒸気	FS1%以下	15A~600A	電気	1. 圧力損失あり 2. スラリー, ダクト混入の液体の測定不可 3. 小型でも大容量の計測可能

- 注) 1. 本表での「計器誤差, 使用管径, 出力信号, その他」は一般的計器のものであり, この仕様をこえるものも多々ある。
2. 一般的な流量計は, この他に「堰式, パーシャルフリューム流量計」等があるが, 排気流量計として適していないので記載を省略した。
3. なお, 本表に記載した流量計がすべて原子力施設の気体廃棄施設および換気空調設備の廃棄流量計に適しているわけではないので, その都度, 調査, 確認を行い, その設備に適したものを選定願いたい。

2. 指示調節計

この計器は、前述の「5.2.1.2 指示調節計」と同じものを使用することが出来るが、排気風量の変動要因および変動の程度は負圧度にくらべて、はるかに少ないため前述の「プログラマブル調節計」の採用も可能となる。

3. 排気量調節用ダンパー

このダンパーも前述の「5.2.1.3 負圧調整用ダンパー」と同じである。

しかし排気系のダクトに設置するため負圧調整用ダンパー以上の汚染対応を必要とし、その設置は原則として「高性能フィルター」の下流にすることが望ましい。

5.3 負圧維持機構の関連設備の纏め

今まで「定排気量負圧制御機構」を構成する関連設備機器の紹介、解説をしてきたが、この機構の機能を最良の状態で開催させるには、当該する原子力施設の用途および、それに伴う原子炉規制法等の関連法令の位置付けを十分確認することが必要である。

とくに高度の耐震度を要求される施設に使用する場合は、いかに機器の制御性が良くても脆弱な構造では採用することが出来ない。

また放射能汚染の拡大の危険性が高い設備や、放射能除染が困難な機器を汚染の可能性が高い箇所には設置することが難しい。

このように原子力施設に採用する設備機器には一般施設には無い制約を受けることが多いので当該設備の設計および施工にあたっては十分な注意が必要である。

(前述「5.1 設備機器の採用に当たっての留意事項」を参照)

さらに当該機器の適切な組合せを行い、釣合いの取れた設備にすることが重要である。このことは、一点豪華主義では設備の機能を低下させる危険をもつもので、とくに高度の機能をもつ指示調節計に対して動作が追従できない負圧調整用ダンパーを用いること等はあってはならない。

では今まで述べてきた設備機器において、原子力施設における負圧維持機構を構成する機器のうち、妥当なものを著者の経験を踏まえて次に示す。

1. 微差圧発信器

空気式、電気式とも圧力検出機能は同等であるが、原子力施設としての汚染拡大防止の意義から「電気式」が望ましい。

これは空気式発信器の場合、ダイアフラム破損により汚染が伝送導管により指示調節計まで拡大する危険があるためである。

さらに電気式は空気式にくらべて小型、軽量であり設置が容易である。

2. 指示調節計

微差圧発信器からの信号が電気式となるため当該計器も「電気式」となるが、排気量発信器も上記、微差圧発信器と同じ理由により電気式が望ましい。

また、微差圧発信器の指示調節計は「単機能形」が望ましいが、排気量発信器の指示調節計は排気風量の変動が小さい施設では「プログラマブル形」の採用も可能性がある。

また当該計器には「記録計」を併設しておくこと確認、調整が容易となる。

3. 排気量発信器

一般的には排気系のダクトは、屈曲や変形が多く流体の整流状態部を得ることが困難なことが多いほか、換気空調設備のダクトは大口径であるため偏流が生じやすい等の問題があり精度の高い測定が困難である。

そのため当該計器は平均流速の測定が可能で圧力損失も低い「差圧式（ピトー管型）、渦式、熱式流量計」による「多点測定」方式のものを採用して高性能排気フィルターの後流部に設置するか、最近開発された「超音波式」を設置することが望ましい。

また指示調節計への信号は微差圧発信器と同じく「電気式」とする。

4. 負圧調整用ダンパー、排気量調整用ダンパー

両ダンパーの選定は制御性のほか、原子力施設としての種々の制約のもとに行われるため一我意には選定しにくいほか、求められるダンパー特性により区分される。

1) 弁型式

弁機能のひとつである「レンジアビリティ（制御可能な最小流量と最大流量の比率）」が負圧調整用と排気量調整用では、一般的には大きく異なる。

「負圧調整用ダンパー」は従来機構および定排気量負圧制御機構ともに定格風量の2倍程度から遮断状態に近い微小風量までを制御するためダンパーのレンジアビリティは非常に大きなものとなるため弁型式は、球形弁（グローブ弁）のような締切性の良いものが望ましいが、換気空調設備での大口径ダクトに設置するには構造的には適していない。

しかし最近球形弁よりレンジアビリティが2倍程度高い「フローウィング弁、カムフレックス弁」が開発されているが口径300 ϕ 程度までしか市販されていない。

そのため現在は、レンジアビリティが小さく十分な対応ができない「バタフライ弁、多翼弁」を、やむをえず使用している例が多い。

それに対し「排気量調節用ダンパー」は風量の変動要因および程度が大きくないため、求められるレンジアビリティは小さい場合が多い。

そのため大口径弁としても選定が容易で「バタフライ弁、多翼弁（対向翼が望ましい）」の採用が可能である。

2) 流量特性

両ダンパーとも一般的には「イコールパーセンティジ特性」が望ましいが弁固有の特性を付属のポジションナーにより容易に変更できるため、あまり本特性にこだわる必要はない。

3) 操作器

弁動作の迅速性を高めるためにも「空気式操作器」が適当である。

また付属ポジションナーは前述のごとく指示調節計からの信号が電気式のため「電/空ポジションナー」を用いる。

4) 弁の作動の区分

自動弁の場合、操作動力源（圧空源または電源等）が停止、喪失した時に弁が開放する動作をするものを「正作動」とし、その逆動作を「逆作動」とする。

一般的に原子力施設では、ダクトを介しての汚染拡大防止を図るために弁動作は「逆作動」とし、操作動力源の停止または喪失時には弁操作器内蔵の「スプリング」の復元力を利用して弁を閉鎖するものとする。

6. あとがき

原子力施設における放射能汚染拡大事象の、ひとつとして空気を媒体として放射性物質が当該施設内および施設周辺に拡散する事故や事象は今までも国内外を問わず発生している。

幸い我国においては、施設の安全性および運転等の管理技術が高く事故の程度は軽微なもので済んでいることは幸いである。

しかし過去の実績にあまんじる事なく今後は、より安全性の高い施設の建設を進めなければならないものと考えられる。

とくに気圧（負圧）により汚染拡大を阻止することを目的とする「気体廃棄物の廃棄施設」および「換気空調設備」においては冒頭の「1. 序論」でも述べたごとく「負圧維持機構」の機能向上に関しては、今まで顕著な成果は現れなかったと思われる。

それには種々の理由があったと思われるが、その内の大きなものとしては当該技術に関する専門書が殆どなく、かつまた関係技術者、専門メーカーおよび施工業者が少ないため大学、学会等の研究開発の課題になることも過去において全く無かったためと判断される。

このような状態では関係技術者同士の交歓、交流も少なく技術向上は望めないばかりか、企業等の組織間や技術者間に技術レベルの不均衡が生じる恐れさえある。

そのため著者は、日本原子力研究所において過去31年にわたり、原子力施設の設計、施工監理に携わる機会を得てきたので、原子力施設の当該設備の設計および施工に関係される諸兄の技術向上の一助となればと思い、著者が開発した「定排気量負圧制御機構」の紹介を兼ねた技術解説書を、その経験をふまえて著書とした。

しかし本文中での解説では不十分と自責している「自動計装機構」については、文中でも述べているように当該部門の担当者またはメーカー担当者と十分協議して機構の決定を行ってほしい。

現在における我国の原子力発電量は総発電量の30%に達したが、今後はさらにその比率を高めてエネルギーの安定供給を図らねばならないほか、各種の原子力施設や核融合施設および大型加速器等の放射線発生施設の建設が予定されている。

また今後は、使用済燃料の再処理、プルトニウム処理を目的としたものも多くなり施設の安全が、より求められ「負圧維持機構」についても、その高度化がさらに要求されると考えられるため諸兄の研鑽により「定排気量負圧制御機構」の対応性、安定性を、より向上させた経済性の高い機構が開発されることを期待します。

最後に本書の著作にあたり「5.2 設備機器」項における自動制御機器関係の仕様等の提示に関して「山武ハネウエル(株)、直井氏」からの同社資料の提供等の御協力について厚くお礼を申し上げます。

以上