

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4274470号
(P4274470)

(45) 発行日 平成21年6月10日(2009.6.10)

(24) 登録日 平成21年3月13日(2009.3.13)

(51) Int.Cl.	F 1
G21F 9/36	(2006.01) G21F 9/36 511P
GO1M 3/02	(2006.01) GO1M 3/02 J
G21F 5/12	(2006.01) G21F 5/00 E
G21C 19/06	(2006.01) G21C 19/06 S

請求項の数 3 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2004-74455 (P2004-74455)
(22) 出願日	平成16年3月16日 (2004.3.16)
(65) 公開番号	特開2005-265443 (P2005-265443A)
(43) 公開日	平成17年9月29日 (2005.9.29)
審査請求日	平成18年3月8日 (2006.3.8)

(73) 特許権者	000173809 財団法人電力中央研究所 東京都千代田区大手町1丁目6番1号
(74) 代理人	100087468 弁理士 村瀬 一美
(72) 発明者	竹田 浩文 千葉県我孫子市我孫子1646番地 財団 法人電力中央研究所 我孫子研究所内
(72) 発明者	亘 真澄 千葉県我孫子市我孫子1646番地 財団 法人電力中央研究所 我孫子研究所内
(72) 発明者	白井 孝治 千葉県我孫子市我孫子1646番地 財団 法人電力中央研究所 我孫子研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】放射性物質密閉容器のガス漏洩検知方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射性物質が収納されると共に加圧ガスが充填された密閉容器と、前記密閉容器が収容される遮蔽構造体と、前記遮蔽構造体の下部側に形成される給気口および上部側に形成される排気口と、前記密閉容器と前記遮蔽構造体との間に形成されて前記給気口および前記排気口とを繋ぐ流路とを有し、前記放射性物質を遮蔽すると共に前記給気口から前記流路を介して前記排気口へと移動する冷却ガスにより前記放射性物質から発生する熱を奪って冷却する放射性物質貯蔵容器について、前記加圧ガスの漏洩を検知する方法において、前記密閉容器の頂面および底面の温度と前記冷却ガスの給気温度を監視し、前記底面温度と前記頂面温度との差の値が上昇し、尚且つ前記給気温度が低下する場合に、ガス漏洩と判断することを特徴とする放射性物質密閉容器のガス漏洩検知方法。

【請求項 2】

前記頂面の中心位置および前記底面の中心位置の温度を監視することを特徴とする請求項1記載の放射性物質密閉容器のガス漏洩検知方法。

【請求項 3】

放射性物質が収納されると共に加圧ガスが充填された密閉容器と、前記密閉容器が収容される遮蔽構造体と、前記遮蔽構造体の下部側に形成される給気口および上部側に形成される排気口と、前記密閉容器と前記遮蔽構造体との間に形成されて前記給気口および前記排気口とを繋ぐ流路とを有し、前記放射性物質を遮蔽すると共に前記給気口から前記流路を介して前記排気口へと移動する冷却ガスにより前記放射性物質から発生する熱を奪って

冷却する放射性物質貯蔵容器について、前記加圧ガスの漏洩を検知する装置において、前記密閉容器の頂面および底面の温度と前記冷却ガスの給気温度を監視し、前記底面温度と前記頂面温度との差の値が上昇し、尚且つ前記給気温度が低下する場合に、ガス漏洩と判断することを特徴とする放射性物質密閉容器のガス漏洩検知装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射性物質密閉容器のガス漏洩検知方法及び装置に関する。さらに詳述すると、本発明は、コンクリートキャスク内に収容される金属製キャニスタに充填されたヘリウムガスの漏洩を検知する方法及び装置に関する。

10

【背景技術】

【0002】

原子炉の使用済原子燃料に代表される高放射性物質の貯蔵手段としてコンクリートキャスクが注目されている。このコンクリートキャスクは、空気によって自然冷却を行う乾式型であり、且つコンクリートは放射線遮蔽材および構造体としての物性および機械的性能に優れるとともに安価であるため、水プールを必要とする湿式法や金属キャスクと比較して、コスト的に有利であるためである。

【0003】

図16に、コンクリートキャスクが備える一般的な構造の一例を示す。このコンクリートキャスク10は、コンクリートにより形成され遮蔽構造体として機能する筒状のコンクリート容器4を備え、このコンクリート容器4内には、密閉容器として機能する筒状のキャニスタ3が収納されている。

20

【0004】

キャニスタ3は、ステンレス鋼などの金属製で、両端が閉塞した円筒形状に形成され、その内部には、放射性物質9である使用済原子燃料が封入されている。このキャニスタ3は、封入された放射性物質9が外部に漏洩しないよう、溶接密閉構造を有している。例えば図17に示すように、容器本体15は底面が閉塞した筒状に形成され、容器本体15の上部開口は、一次蓋13、二次蓋14によって閉塞されている。これらの一次蓋13および二次蓋14は隙間を置いて重ねて配置されているとともに、それぞれ周縁部が全周に亘って容器本体15の内周面に溶接され、キャニスタ3の密閉性を高めている。容器本体15内および一次蓋13と二次蓋14との間の空間には、空気よりも熱伝導率の高い不活性ガスであるヘリウム(He)ガスが封入されている。

30

【0005】

コンクリート容器4は底部の閉塞された円筒形状に形成され、コンクリート容器4の上端開口は、コンクリート製の蓋体1により閉塞されている。コンクリート容器4内には、コンクリート容器4の内周面および蓋体1により、円柱形状の収納部が規定されている。そして、この収納部内にキャニスタ3が収納されている。キャニスタ3は、収納部の底面に形成された支持脚5上に載置されているとともに、コンクリート容器4と同軸に配置されている。また、コンクリート容器4の内周面には、炭素鋼等の金属からなる円筒状のライナ12が設けられている。ライナ12は、放射性物質9からのガンマ線を遮蔽する機能を有している。

40

【0006】

また、収納部内に収納された状態において、キャニスタ3の外周面とコンクリート容器4の内周面との間には隙間が形成され、この隙間により冷却空気が流れる流路11が形成されている。流路11は、キャニスタ3の外周面の全周に亘って、かつ、外周面の軸方向全長に亘って形成されている。コンクリート容器4の下部側には複数(例えば4つ)の給気口6が形成され、また、コンクリート容器4の上部側には、同様に複数(例えば4つ)の排気口2が形成され、それぞれ流路11に連通している。給気口6および排気口2は、コンクリート容器4の外周面に開口している。

【0007】

50

これらの給気口 6、排気口 2、および流路 11 は、冷却空気の自然対流冷却によりコンクリートキャスク 10 を冷却する冷却手段を構成している。すなわち、給気口 6 からコンクリート容器 4 内に導入された冷却空気は、流路 11 を通ってキャニスタ 3 の周囲を流れ、その間、キャニスタ 3 およびコンクリート容器 4 を冷却する。そして、キャニスタ 3 からの熱によって加熱され昇温した冷却空気は、排気口 2 からコンクリート容器 4 の外部に排出される。

【0008】

上記のように構成されるコンクリートキャスク 10 において、キャニスタ 3 の溶接部の欠陥や腐食などによりキャニスタ 3 に封入されたヘリウムが漏洩してしまう可能性が懸念される。かかるヘリウム漏洩事象は、環境に放射性物質を出すことになり、防止すべき事象であるが、万が一こののような事象が起こった場合には、より早急に検知して対策をとる必要がある。

10

【0009】

従来、特許文献 1 に開示されるように、キャニスタ 3 の側面における高さ方向の温度分布を監視して、ヘリウムの漏洩を検知する方法が提案されている。特許文献 1 の技術では、同文献の図 4 にて説明されるように、キャニスタ 3 の側面における高さ方向に沿った温度分布が、キャニスタ 3 内におけるヘリウムの充填量に応じて変化することを利用している。即ち、ヘリウムの充填量が正常であればヘリウムがキャニスタ 3 内で良好に対流するため、キャニスタ 3 の下方が低く上方が高い温度分布となるが、ヘリウムが漏洩してキャニスタ 3 の内圧が下がるとキャニスタ 3 内でのヘリウムの対流が弱まり、キャニスタ 3 上部の温度が低下し、高さ方向中間部の温度が上昇してくる。そこで、キャニスタ 3 の側面における高さ方向の温度分布を監視して、上記温度分布の変化をとらえ、ヘリウムの漏洩を検知するようにしている。

20

【0010】

【特許文献 1】特開 2002-202400 号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、特許文献 1 の技術では以下の問題点がある。即ち、給気口 6 からコンクリート容器 4 内に導入される冷却空気は外気温の影響を受けて変動する。キャニスタの高さ方向の温度分布はこの給気温度の変化の影響を大きく受けと共に、ヘリウムが極微量ずつ漏洩する場合にはキャニスタの高さ方向の側面温度の変化量は特に小さく、キャニスタの側面における各点の温度変化が給気温度の変化によるものか、ヘリウムの漏洩によるものか、判別することが極めて難しい。このため、ヘリウムの微少漏洩の開始ないし過渡期の見落としにより、ヘリウム漏洩の早期発見に失敗する虞がある。

30

【0012】

また、キャニスタの高さ方向の温度分布に対する給気温度の変化の影響を除くためには、測定データに対して統計学的手法を用いた複雑な計算が必要であり、加えて統計処理により得られたデータを用いてヘリウム漏洩の有無を判断するためには、経験的な判断基準を設ける必要があった。

40

【0013】

また、貯蔵期間の経過に従って放射性物質の発熱量は低下するため、貯蔵末期もしくは貯蔵開始から長期間（例えば 20 年～40 年のレベル）経過したキャニスタの高さ方向の温度分布は、低温方向に移動すると共に温度分布のピークがなだらかになって平坦に近づく。すなわち特許文献 1 の技術が着目している上記温度分布の特徴が弱まるので、キャニスタ側面の各点の温度変化が給気温度の変化によるものか、ヘリウムの漏洩によるものかの判別が、更に難しくなる。

【0014】

そこで本発明は、放射性物質貯蔵容器のガス漏洩の検知感度を高め、ガスが微少漏洩する場合または貯蔵期間が長期にわたる場合でも、信頼性の高いガス漏洩検知を簡易に行え

50

る方法および装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

かかる目的を達成するため、本願発明者は鋭意実験および検討を繰り返した結果、コンクリートキャスクのキャニスタ内からのヘリウムの漏洩が生じると、通常起こり得る給気温度変化（例えば日中から夜間に移行することによる日常的な給気温度変化）にかかわらず、キャニスタの外表面のうち、キャニスタの頂面ではある定常値に向かって温度低下を続け、キャニスタの底面ではある定常値に向かって温度上昇を続け、尚且つキャニスタの外表面の他のどの点に対しても、上記頂面の中心位置および上記底面の中心位置における温度変化が最大となることを知見するに至った。

10

【0016】

請求項1記載の放射性物質密閉容器のガス漏洩検知方法は、かかる知見に基づくものであって、放射性物質が収納されると共に加圧ガスが充填された密閉容器と、前記密閉容器が収容される遮蔽構造体と、前記遮蔽構造体の下部側に形成される給気口および上部側に形成される排気口と、前記密閉容器と前記遮蔽構造体との間に形成されて前記給気口および前記排気口とを繋ぐ流路とを有し、前記放射性物質を遮蔽すると共に前記給気口から前記流路を介して前記排気口へと移動する冷却ガスにより前記放射性物質から発生する熱を奪って冷却する放射性物質貯蔵容器について、前記加圧ガスの漏洩を検知する方法であり、前記密閉容器の頂面および底面の温度と前記冷却ガスの給気温度を監視し、前記底面温度と前記頂面温度との差の値が上昇し、尚且つ前記給気温度が低下する場合に、ガス漏洩と判断するようにしている。

20

【0017】

また、請求項3記載の放射性物質密閉容器のガス漏洩検知装置は、放射性物質が収納されると共に加圧ガスが充填された密閉容器と、前記密閉容器が収容される遮蔽構造体と、前記遮蔽構造体の下部側に形成される給気口および上部側に形成される排気口と、前記密閉容器と前記遮蔽構造体との間に形成されて前記給気口および前記排気口とを繋ぐ流路とを有し、前記放射性物質を遮蔽すると共に前記給気口から前記流路を介して前記排気口へと移動する冷却ガスにより前記放射性物質から発生する熱を奪って冷却する放射性物質貯蔵容器について、前記加圧ガスの漏洩を検知する装置であり、前記密閉容器の頂面および底面の温度と前記冷却ガスの給気温度を監視し、前記底面温度と前記頂面温度との差の値が上昇し、尚且つ前記給気温度が低下する場合に、ガス漏洩と判断を検知するようにしている。

30

【0018】

ガス漏洩が始まると、密閉容器の頂面ではある定常値に向かって温度低下を続け、密閉容器の底面ではある定常値に向かって温度上昇を続ける。したがってガス漏洩が生じていれば、底面温度は上昇するのに対し頂面温度は低下するから、底面温度と頂面温度との差の値は大きくなり、且つこの値は、ある定常値に向かって増加し続ける。つまり、ガス漏洩が生じた場合には、底面温度と頂面温度との差の値は特異な傾向を示し、尚且つこの値の増加量はガス微少漏洩時における密閉容器外面上のどの点の温度変化量よりも大きくなる。また、給気温度が低下する場合、給気口に近い密閉容器の底面ではこの影響を受けて温度低下し、頂面においても若干の温度低下が見られるのが通常である。給気温度が低下しているにもかかわらず、底面温度と頂面温度との差の値が上昇するのは、ガス漏洩が生じた場合に他ならない。したがって、底面温度と頂面温度との差の値を監視すると共に、給気温度も監視対象に加えることで、より確実かつ早期にガス漏洩を検知することができる。

40

【0019】

また、請求項2記載の発明は、請求項1記載の放射性物質密閉容器のガス漏洩検知方法において、前記頂面の中心位置および前記底面の中心位置の温度を監視するようにしている。密閉容器からの加圧ガスの漏洩が生じた場合の密閉容器外面上における温度変化は、頂面の中心位置および底面の中心位置において最も大きい。したがって、これらの位置にお

50

ける温度を監視することで、検知感度をより向上でき、更に信頼性の高いガス漏洩検知を行うことができる。

【発明の効果】

【0022】

しかして請求項1記載のガス漏洩検知方法および請求項3記載のガス漏洩検知装置によれば、密閉容器の底面温度と頂面温度との差の値が上昇し、尚且つ給気温度が低下する場合に、ガス漏洩と判断するので、ガスが微少漏洩する場合でも、また貯蔵期間が長期にわたる場合でも、給気温度の変化による影響と明確に区別して、信頼性の高いガス漏洩検知を行うことができる。また、測定温度データから給気温度の変化の影響を除く複雑な統計学的計算は不要であり、また統計データに対する経験的な判断基準を設ける必要もない10で、簡易にガス漏洩検知を行うことができる。さらに、冷却ガスの給気温度も監視しているので、より確実かつ早期にガス漏洩を検知することができる。

【0023】

さらに、請求項2記載のガス漏洩検知方法によれば、ガス漏洩時の温度変化が最大となる頂面中心位置および底面中心位置の温度を監視するので、ガス漏洩検知感度をより向上でき、更に信頼性の高いガス漏洩検知を行うことができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明の構成を図面に示す実施形態に基づいて詳細に説明する。

【0027】

図1から図15に本発明の放射性物質密閉容器のガス漏洩検知方法の実施の一形態を示す。本発明方法は、放射性物質9が収納されると共に加圧ガスが充填された密閉容器3と、密閉容器3が収容される遮蔽構造体4と、遮蔽構造体4の下部側に形成される給気口6および上部側に形成される排気口2と、密閉容器3と遮蔽構造体4との間に形成されて給気口6および排気口2とを繋ぐ流路11とを有し、放射性物質9を遮蔽すると共に給気口6から流路11を介して排気口2へと移動する冷却ガスにより放射性物質9から発生する熱を奪って冷却する放射性物質貯蔵容器10について、加圧ガスの漏洩を検知するものであり、密閉容器3の頂面S1および底面S2の温度を監視し、これらの温度変化に基づいてガス漏洩を検知するようにしている。

【0028】

本実施形態における放射性物質貯蔵容器は、例えば図16に示すコンクリートキャスク10としている。したがって、本実施形態における密閉容器は、溶接密閉構造を有する金属製キャニスタ3であり、遮蔽構造体はコンクリート容器4である。ただし、放射性物質貯蔵容器の構造、形状、材質等は本実施形態の例に限定されず、必要機能を満たすものを適宜選択可能である。例えば流路11は図1に示す構成に限らず、図18または図19のいずれかに示す流路11であっても良く、或いは更に他の形状の流路11であっても良い。具体的には、例えば図1に示す構成では、コンクリート容器4の下部を直線的に貫通するように給気口6が設けられており、この給気口6は、コンクリート容器4におけるキャニスタ3の底面S2と対抗する面の中心部に設けられた穴を介して、流路11と接続している。また、図1では、排気口2はキャニスタ3の頂面S1よりも上方に設けられており、且つキャニスタ3の頂面S1よりも上方にあり排気口2に繋がる流路11は屈曲している。一方、図18に示す構成では、排気口2およびその周辺の流路11は図1と同様であるが、コンクリート容器4におけるキャニスタ3の底面S2と対抗する面の中心部には穴は設けられておらず、キャニスタ3の下部の周縁付近で給気口6と流路11とが繋がっており、且つキャニスタ3の底面S2よりも下方にあり給気口6に繋がる流路11は屈曲している。他方、図19に示す構成では、給気口6およびその周辺の流路11は図1と同様であるが、排気口2がキャニスタ3の頂面S1と同程度の高さとなる位置に設けられており、排気口2近傍の流路11が図1と異なり屈曲していない。

【0029】

キャニスタ3に封入するガスはヘリウム(He)としている。ただし、キャニスタ3に

10

20

30

40

50

充填するガスが必ずしもヘリウムのみに限定されるものではなく、空気よりも熱伝導率の高い他の不活性ガスを用いても良い。また、キャニスタ3内のガスの内圧は、必要とされる任意の値に設定可能である。冷却ガスは、一般にはコンクリートキャスク10の周囲に存在する自然空気すなわち冷却空気である。冷却空気が給気口6から流路11を介して排気口2へと自然対流を起こすことにより、コンクリートキャスク10を冷却する冷却機能が実現される。尚、コンクリートキャスク10が屋外に設置される場合は外気が冷却空気となり、屋内に設置される場合は室内空気が冷却空気となる。ただし、場合によっては、一定の温度域や湿度に調整した空気または空気以外の冷却ガスをコンクリートキャスク10の周囲に送り込み、これを冷却ガスとしても構わない。

【0030】

10

本実施形態では温度センサ7をキャニスタ3の頂面S1の中心位置および底面S2の中心位置に設置し、これらの位置の温度を監視するようにしている。尚、中心位置には厳密な中心点の近傍も含まれるものとする。但し、ガス漏洩の検知感度はやや低下するが、中心位置から離れた位置、例えば頂面S1または底面S2の縁の傍に温度センサ7を設置しても構わない。また本実施形態では、給気口6の1つに温度センサ7を設置して、給気口6における冷却空気の温度すなわち給気温度も監視するようにしている。

【0031】

温度センサは、例えば熱電対7を用いる。勿論、サーミスタなど熱電対以外の周知の温度センサを用いても構わない。キャニスタ3の頂面S1の中心位置および底面S2の中心位置にはそれぞれ2つの熱電対7の各測定接点が接触しており、且つこれら2つの熱電対7は温度計測装置8に電気的に接続している。また、給気口6には流入する冷却空気と触れるように熱電対7の測定接点が配置されており、この熱電対7も温度計測装置8に電気的に接続している。温度計測装置8は、ゼーベック効果による熱起電力をを利用して、各熱電対7で発生する熱電圧を測定することにより、各熱電対7の測定接点の温度を測定する周知の装置である。尚、冷却空気、給気口6、流路11、排気口2により構成される冷却機能を損なわない範囲で、コンクリート容器4や蓋体1に、温度センサ7の設置に必要な穴などを適宜設けても良い。

20

【0032】

本願発明者が実験したところ、上記コンクリートキャスク10のキャニスタ3内からヘリウムの漏洩が生じると、通常起こり得る給気温度変化（例えば日中から夜間に移行することによる給気温度変化）にかかわらず、キャニスタ3の外表面のうち、キャニスタ3の頂面S1ではある定常値に向かって温度低下を続け、キャニスタ3の底面S2ではある定常値に向かって温度上昇を続け、尚且つキャニスタ3の外表面のどの点に対しても、上記頂面S1の中心位置および上記底面S2の中心位置における温度変化が最大となることが知見された。

30

【0033】

したがって、温度計測装置8から出力されるキャニスタ3の頂面S1および底面S2の温度を監視していて、キャニスタ3の頂面S1ではある定常値に向かって温度低下を続け、キャニスタ3の底面S2ではある定常値に向かって温度上昇を続ける傾向の有無を確認することで、ヘリウムの漏洩の有無を判断できる。

40

【0034】

さらに、ヘリウムの漏洩が生じた場合のキャニスタ3の外表面における温度変化は、頂面S1の中心位置および底面S2の中心位置において最も大きい。したがって、本実施形態のようにこれらの位置における温度を監視することで、検知感度をより向上でき、更に信頼性の高いガス漏洩検知を行うことができる。

【0035】

さらに、ヘリウムの漏洩が生じた場合、キャニスタ3の底面温度は上昇するのに対し頂面温度は低下するから、「底面温度と頂面温度との差」の値は大きくなり、且つこの値は、いったんヘリウムの漏洩が生じた後は、ある定常値に向かって増加し続ける。つまり、ヘリウムの漏洩が生じた場合には、「底面温度と頂面温度との差」の値は特異な傾向を示

50

し、尚且つこの値の増加量はヘリウム微少漏洩時におけるキャニスター3の外面上のどの点の温度変化量よりも大きいので、「面温度と頂面温度との差」の値を監視することで、検知感度をより向上でき、更に信頼性の高いガス漏洩検知を行うことができる。

【0036】

さらに、給気温度が低下する場合、給気口6に近いキャニスター3の底面S2ではこの影響を受けて温度が低下し、頂面S1においても若干の温度低下が見られるのが通常であるが、給気温度が低下しているにもかかわらず、上記「底面温度と頂面温度との差」の値が上昇するのは、ヘリウム漏洩が生じた場合に他ならない。したがって、本実施形態のように、給気温度も監視対象に加えることで、より確実かつ早期にガス漏洩を検知することができる。例えば、「底面温度と頂面温度との差」の値が上昇し、尚且つ給気温度が低下する場合に、ヘリウム漏洩と判断する。

10

【0037】

また、以上に説明した放射性物質密閉容器のガス漏洩検知方法は、ガス漏洩検知装置として構成することもできる。例えば、温度計測装置8から出力されるデータを図示しない計算機（コンピュータ）に取り込み、「底面温度と頂面温度との差」の値の経時変化を、上記計算機が備える表示装置にグラフ等として表示出力する。これにより監視者等は、表示されたグラフ等を確認してヘリウム漏洩の有無を判断することができる。また、上記計算機が備える演算機能により、ヘリウム漏洩の有無を推定し、ヘリウム漏洩と推定される場合には、警告音や警告メッセージを出力するようにしても良い。例えば、「底面温度と頂面温度との差」の値が上昇しており、尚且つ給気温度が低下している場合には、警告音や警告メッセージを出力して、監視者等に注意を促すようにしても良い。

20

【0038】

なお、上述の実施形態は本発明の好適な実施の一例ではあるがこれに限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変形実施可能である。例えば計算機が備える演算機能によりヘリウム漏洩の有無を推定するにあたって、次のような処理を行うようにしても良い。例えば、予め求めておいた正常時における「キャニスター3の底面温度と頂面温度との差」の値の平均値（特に変動の少ない夜間の平均値もしくは、1日ないし数日間の平均値をとることが好ましい。）を基準値とし、監視時における「キャニスター3の底面温度と頂面温度との差」の値が上記基準値に対して時間経過と共に連続的に上昇する傾向が観測され、且つ当該基準値よりも6以上上昇した場合に、ヘリウム漏洩と推定し、警告音や警告メッセージを出力するようにしても良い。または、予め求めておいた正常時におけるキャニスター3の底面温度と頂面温度の平均値をそれぞれ底面温度基準値、頂面温度基準値とし、監視時におけるキャニスター3の底面温度の値が上記底面温度基準値に対して時間経過と共に連続的に上昇する傾向が観測され、且つ当該底面温度基準値よりも3以上上昇し、尚且つ、監視時におけるキャニスター3の頂面温度の値が上記頂面温度基準値に対して時間経過と共に連続的に下降する傾向が観測され、且つ当該頂面温度基準値よりも3以上下降した場合に、ヘリウム漏洩と推定し、警告音や警告メッセージを出力するようにしても良い。さらに、上記いずれかの条件に「尚且つ給気温度が低下している場合」を更なる条件として加えても良い。

30

【実施例】

40

【0039】

以下に、本発明の有用性を裏付ける実験およびその結果を実施例として説明する。

【0040】

<実験1>

図18に示す流路11を有するコンクリートキャスク10のキャニスター3に開閉可能なバルブを設け、かつそのキャニスター3内に、原子炉使用済燃料棒を模擬する電気ヒータを実際の使用済燃料棒と同条件で収容し、且つ大気圧レベル（ゲージ圧力で0kPa）でヘリウムガスを充填して、コンクリートキャスク10における使用済原子燃料の初期貯蔵状態（発熱量22.6kW）を模擬した。電気ヒータの発熱によりキャニスター3の内圧は上昇し、ゲージ圧力で56kPaで定常状態となった。その後、図2に示す測定点a～kに

50

、それぞれ設置してある熱電対 7 によって、各測定点 a ~ k の温度を継続的に測定した。尚、測定点 a はキャニスタ 3 の頂面 S 1 の中心位置、測定点 b はキャニスタ 3 の頂面 S 1 の縁近傍、測定点 c はキャニスタ 3 の側面の上端近傍、測定点 d は測定点 c の下方、測定点 e は更に測定点 d の下方、測定点 f はキャニスタ 3 の側面の高さ方向ほぼ中間位置、測定点 g は測定点 f の下方、測定点 h は更に測定点 g の下方、測定点 i はキャニスタ 3 の側面の下端近傍、測定点 j はキャニスタ 3 の底面 S 2 の縁近傍、測定点 k はキャニスタ 3 の底面 S 2 の中心位置とした。また、給気口 6 における給気温度（図 2 中で示す測定点 l における冷却空気の温度）を熱電対 7 を用いて継続的に測定した。更にその後、キャニスタ 3 に設けたバルブを緩めて減圧し、4 日間かけてキャニスタ 3 の内圧が大気圧レベル程度となるまで、ヘリウムガスを漏洩させた。図 3 ~ 図 9 に、上記実験結果を示す。

10

【 0 0 4 1 】

図 3 は、ヘリウムが漏洩する前後のキャニスタ 3 内の圧力の変化と、各測定点 a ~ k の温度変化、および給気温度の変化を示す。尚、ヘリウムの漏洩開始時を 0 時間としている。また、図 3 の中から測定点 a ~ k の温度変化だけを取り出したものを図 2 0 に示す。

【 0 0 4 2 】

図 4 は、ヘリウムが漏洩する以前（即ち通常時）のキャニスタ 3 の高さ位置に対するキャニスタ 3 の表面温度を示し、（1）ヘリウム漏洩時（図中「0 h」と表示）、（2）ヘリウム漏洩時より 19.6 時間前（図中「- 19.6 h」と表示）、（3）ヘリウム漏洩時より 36 時間前（図中「- 36 h」と表示）、（4）ヘリウム漏洩時より 60 時間前（図中「- 60 h」と表示）の各グラフを示している。尚、ヘリウム漏洩時の給気温度は 29.1、ヘリウム漏洩時より 19.6 時間前の給気温度は 34.6、ヘリウム漏洩時より 36 時間前の給気温度は 29.4、ヘリウム漏洩時より 60 時間前の給気温度は 28.6 であった。

20

【 0 0 4 3 】

図 4 および図 5 の各グラフは各該当時間において測定点 a ~ k で測定された温度を a ~ k の順に高さに従って結んだものである。図 4 では、いずれのグラフも、キャニスタ 3 の底面 S 2 の中心である測定点 k は比較的温度が高く、キャニスタ 3 の底面 S 2 の縁近傍である測定点 j は測定点 k よりも温度が下がり、キャニスタ 3 の下端近傍である測定点 i はさらに温度が下がるが、測定点 h, g, f, e とキャニスタ 3 上方に向かうと温度は上昇し、さらにキャニスタ 3 上方である測定点 d, c, b では温度が下がり、キャニスタ 3 の頂面 S 1 の中心である測定点 a で再び温度が上昇している。キャニスタ 3 の底面 S 2 の中心部（測定点 k）の温度が高いのは、キャニスタ 3 内の発熱体がキャニスタ 3 の内部空間の底面 S 2 に接触するためと考えられる。また、キャニスタ 3 の下部（測定点 j, i）の温度が低いのは、冷却空気が当たり冷やされるためと考えられる。また、キャニスタ 3 の上部（測定点 h, g, f, e）に向かって温度が上昇し、温度ピークがキャニスタ 3 高さ方向の中間位置よりもやや上方に位置するのは、キャニスタ 3 内部でのヘリウムの対流効果に起因する現象と考えられる。さらにキャニスタ 3 の上部（測定点 b, c）になると温度が下がるのは、当該個所はキャニスタ 3 内の発熱体とキャニスタ 3 上部との間の空間にあたり、発熱体による加熱の影響が少なくなるためと考えられる。キャニスタ 3 の頂面 S 1 の中心（測定点 a）で再び温度が上るのは、キャニスタ 3 の頂面 S 1 の上で冷却空気が淀んでいるためと考えられる。ヘリウムが漏洩する以前（即ち通常時）では、上記温度分布の特徴を保っていると考えられる。換言すれば、図 4 の各グラフは、あたかも同一形状のグラフが給気温度の変化に応じて温度軸方向（即ち横軸方向）に平行移動したものとほぼ等しいとも考えられる。

30

【 0 0 4 4 】

一方、図 5 は、ヘリウムの漏洩以後のキャニスタ 3 の高さ位置に対するキャニスタ 3 の表面温度を示し、（1）ヘリウム漏洩時（図中「0 h」と表示）、（2）ヘリウム漏洩時より 12 時間後（図中「12 h」と表示）、（3）ヘリウム漏洩時より 36 時間後（図中「36 h」と表示）、（4）ヘリウム漏洩時より 60 時間後（図中「60 h」と表示）の各グラフを表示している。ヘリウムが漏洩した結果、キャニスタ 3 内部でのヘリウムの対

40

50

流効果が失われ、ヘリウムが漏洩する以前（即ち通常時）においてはキャニスタ3の高さ方向の中間位置よりもやや上方に位置していた温度ピークが、キャニスタ3の高さ方向の中間位置に向かって（即ち下側に）移動すると考えられる。しかし、図5に明示されるように、全体の温度分布に対する各測定点a～k、特に側面の測定点c～iでの温度変化は微少であり、且つ各測定点a～kの温度変化にはヘリウム漏洩の影響のみならず図4と同様の給気温度の変化の影響も当然に含まれている。図4と図5との比較からも明らかのように、単にキャニスタ3の側面の高さ方向の温度分布を監視するのみでは、該温度分布の変化が給気温度の変化によるものなのか、ヘリウムの漏洩によるものなのか、判別することは難しい。

【0045】

そこで、視点を変えて、各測定点a～kでのヘリウムの漏洩前後の温度変化を調べた。結果を図6および図7に示す。

【0046】

図6は、ヘリウムが漏洩する以前（即ち通常時）における各測定点a～kでの温度変化を示し、ヘリウム漏洩時（0時間）を基準として、（1）19.6時間前からヘリウム漏洩時までの温度変化（図中「-19.6h」と表示）、（2）36時間前からヘリウム漏洩時までの温度変化（図中「-36h」と表示）、（3）60時間前からヘリウム漏洩時までの温度変化（図中「-60h」と表示）の各グラフを示している。

【0047】

図7は、ヘリウムの漏洩以後における各測定点a～kでの温度変化を示し、ヘリウム漏洩時（0時間）を基準として、（1）ヘリウム漏洩時から12時間後までの温度変化（図中「12h」と表示）、（2）ヘリウム漏洩時から36時間後までの温度変化（図中「36h」と表示）、（3）ヘリウム漏洩時から60時間後までの温度変化（図中「60h」と表示）の各グラフを示している。

【0048】

図6および図7の各グラフは各該当期間における測定点a～kでの温度変化をa～kの順に高さに従って結んだものである。図6に示すヘリウムの漏洩以前（即ち通常時）では、各測定点a～kでの温度変化は、時間経過と共に給気温度変化の影響を受けてプラス側とマイナス側とを不規則に行き来しているが、図7に示すヘリウムの漏洩以後では、キャニスタ3頂面S1の測定点a, bでの温度変化が明らかに時間経過と共にマイナス側一方向に著しく移動しており、またキャニスタ3底面S2の測定点k, jでの温度変化が明らかに時間経過と共にプラス側一方向に著しく移動していることが確認できる。即ち、ヘリウムの漏洩直後からヘリウムが抜けきった状態となるまで、キャニスタ3の頂面S1の温度は低下し続け、逆にキャニスタ3の底面S2の温度は上昇し続けている。さらに、マイナスの温度変化はキャニスタ3の頂面S1の中心位置（測定点a）で最も大きく、プラスの温度変化はキャニスタ3の底面S2の中心位置（測定点k）で最も大きいことが分かる。ヘリウムの漏洩以後においても、ヘリウムの漏洩以前と同様に給気温度の変化は存在するので、図7での結果にも当然に給気温度変化の影響が含まれる。にもかかわらず、キャニスタ3の頂面S1及び底面S2、特にその中心位置における温度変化が一方的な傾向を示したのは、キャニスタ3の頂面S1及び底面S2、特にその中心位置では、給気温度変化の影響よりもヘリウム漏洩の影響の方が圧倒的に大きいため、と考えられる。従って、キャニスタ3の頂面S1及び底面S2の温度、好ましくはその中心位置の温度を監視していて、図7に示す傾向が見られた場合には、ヘリウムガスが漏洩している可能性があると判断できる。

【0049】

次に、キャニスタ3の底面S2中心温度と頂面S1中心温度との差を T_{B-T} と定義し（即ち $T_{B-T} = \text{測定点kの温度} - \text{測定点aの温度}$ ）、ヘリウムの漏洩前後における T_{B-T} の挙動を調べた。結果を図8に示す。尚、同図にはヘリウムが漏洩する前後のキャニスタ3内の圧力の変化も併せて示している。ヘリウムの漏洩以前において、 T_{B-T} の値が時間経過と共に上下しているのは、給気温度の変化に起因するものと考えられる。一方

10

20

30

40

50

、ヘリウムの漏洩直後から T_{B_T} の値が約 8 度急上昇し、その後、ヘリウム漏洩により減圧したキャニスタ 3 内の圧力が定常に近づくと、 T_{B_T} の値は再びヘリウムの漏洩以前のように時間経過と共に上下している。ヘリウムの漏洩開始直後から T_{B_T} の値が急上昇しているのは、ヘリウムの漏洩開始により、給気温度の変化によらず、換言すればヘリウム漏洩の影響が給気温度変化の影響を凌駕して、キャニスタ 3 の底面 S 2 中心温度が一方的に上昇し、キャニスタ 3 の頂面 S 1 中心温度が一方的に低下したためと考えられる。 T_{B_T} の値が急上昇した後、ヘリウムの漏洩以前のように時間経過と共に上下しているのは、キャニスタ 3 の底面 S 2 中心温度および頂面 S 1 中心温度がキャニスタ 3 内からヘリウムが抜けきった後の定常値に落ち着き、換言すればヘリウム漏洩の影響が極弱まり若しくは無くなり、再び給気温度変化の影響が目立って現れ始めたためと考えられる。すなわち、 T_{B_T} の値は、ヘリウムの漏洩が生じると、必然的にキャニスタ 3 内のヘリウムが抜けきった場合の値に落ち着こうとする。換言すれば、ヘリウム漏洩により必然的に低下するキャニスタ 3 の内圧を示す図 8 のカーブを、ヘリウム漏洩により必然的に上昇する T_{B_T} を示す同図のカーブに、置き換えることができる。従って、キャニスタ 3 内の圧力監視をそのまま T_{B_T} の監視に置き換えることができる。よって、キャニスタ 3 の頂面 S 1 中心温度及び底面 S 2 中心温度を測定すると共に、 T_{B_T} の値を逐次算出して T_{B_T} の値を監視して、図 8 に示す T_{B_T} の上昇傾向が見られた場合には、ヘリウムガスが漏洩している可能性があると判断できる。また、上記のように T_{B_T} の上昇カーブは、ヘリウム漏洩によるキャニスタ 3 の内圧の低下カーブと密接な関係があると考えられるので、上記 T_{B_T} の上昇カーブに基づいてヘリウムの漏洩率を推定することも可能となる。例えば T_{B_T} の上昇率とキャニスタ 3 の内圧低下率（すなわちヘリウムの漏洩率）との相関を予め求めておけば、容易に測定可能な T_{B_T} の上昇率に基づいて、ヘリウムの漏洩率を推定することが可能となる。

【0050】

また図 9 は、図 8 に示したヘリウムの漏洩前後における T_{B_T} の挙動と併せて、給気温度の経時変化を示したものである。同図の矢印 A で指し示すように、 T_{B_T} の値が急上昇している間に、給気温度が下がっていることが確認できる。この事からも、キャニスタ 3 の底面 S 2 中心温度および頂面 S 1 中心温度に関しては、通常起こり得る一般的な給気温度変化の影響よりも、ヘリウム漏洩の影響の方が遙かに大きいことが確認できる。尚、 T_{B_T} の値が急上昇している間に給気温度が低下したのは、日中から夜間に移行したためと考えられる。従って、給気温度が下がっているにもかかわらず T_{B_T} が上昇している場合、換言すれば給気温度の低下と T_{B_T} の上昇が同時に確認できる場合には、ヘリウムガスが漏洩している可能性が極めて高いと判断できる。

【0051】

< 実験 2 >

次に、実験 1 の条件におけるヒータの発熱量を変えて、コンクリートキャスク 10 における使用済原子燃料の長期貯蔵状態を模擬する実験を行った。すなわち、図 18 に示す流路 11 を有するコンクリートキャスク 10 のキャニスタ 3 内に、原子炉使用済燃料棒を模擬する電気ヒータを実際の使用済燃料棒と同条件で収容し、且つ大気圧レベル（ゲージ圧力で 0 kPa）でヘリウムガスを充填して、コンクリートキャスク 10 における使用済原子燃料の初期貯蔵状態（発熱量 22.6 kW）を模擬した。電気ヒータの発熱によりキャニスタ 3 の内圧は上昇し、ゲージ圧力で 56 kPa で定常状態となった。その後、図 2 に示す測定点 a ~ k に、それぞれ設置してある熱電対 7 によって、各測定点 a ~ k の温度を測定した。また、上記電気ヒータの発熱量を 16 kW として、コンクリートキャスク 10 での使用済原子燃料の貯蔵期間 20 年の状態を模擬した。この場合、キャニスタ 3 の内圧は、ゲージ圧力で 44 kPa で定常状態となった。その後、各測定点 a ~ k の温度を測定した。さらに、上記電気ヒータの発熱量を 10 kW として、コンクリートキャスク 10 での使用済原子燃料の貯蔵期間 40 年の状態を模擬した。この場合、キャニスタ 3 の内圧は、ゲージ圧力で 32 kPa で定常状態となった。その後、各測定点 a ~ k の温度を測定した。上記発熱量 22.6 kW, 16 kW, 10 kW のそれぞれの場合におけるキャニスタ

10

20

30

40

50

3の高さ方向における温度分布を図10に示す。

【0052】

図10の各グラフは、各該当発熱量の定常状態における測定点a～kで測定された温度をa～kの順に高さに従って結んだものである。図10から、発熱量の低下に従って、温度分布が低温方向に平行移動すると共に温度分布のピークがなだらかになって平坦に近づくことがわかる。しかし、 T_{BT} は、発熱量22.6 kWの場合に14.7、発熱量16 kWの場合に13.2、発熱量10 kWの場合に10.2であり、発熱量の低下に対する T_{BT} の変化は、発熱量の低下に対する温度分布全体の温度変化と比較して小さい。また、発熱量の低下に従って T_{BT} はやや低下する傾向にあるが、ヘリウム漏洩の検知は T_{BT} の上昇傾向を監視することにより行うので、長期貯蔵により放射性物質9の発熱量が小さくなつた場合でも、 T_{BT} の監視に基づくヘリウム漏洩検知を惑わす要因となつていなことが確認できる。

【0053】

<実験3>

次に、実験1よりもキャニスター3内の圧力を高め、且つヘリウムの漏洩率を高めた実験を行つた。即ち、図18に示す流路11を有するコンクリートキャスク10のキャニスター3に開閉可能なバルブを設け、かつそのキャニスター3内に、原子炉使用済燃料棒を模擬する電気ヒータを実際の使用済燃料棒と同条件で収容し、且つヘリウムガスを充填して、コンクリートキャスク10における使用済原子燃料の初期貯蔵状態(発熱量22.6 kW)を模擬した。電気ヒータの発熱によりキャニスター3の内圧は上昇し、ゲージ圧力で151 kPaで定常状態となつた。その後、図2に示す測定点a～kに、それぞれ設置してある熱電対7によって、各測定点a～kの温度を継続的に測定した。更にその後、キャニスター3に設けたバルブを緩めて減圧し、約1日でキャニスター3の内圧が大気圧レベル程度となるまで、ヘリウムガスを漏洩させた。尚、本件とは別の実験の都合上、本実験3では排気口2の構造を実験1のものから若干変更した。

【0054】

図11に、上記ヘリウム漏洩前後の T_{BT} の挙動を示す。ヘリウム漏洩の前後で T_{BT} の値は約20も上昇している。また図12は、図11に示したヘリウムの漏洩前後における T_{BT} の挙動と併せて、給気温度の経時変化を示したものである。図12の矢印Bで指し示すように、 T_{BT} の値が急上昇している間に、給気温度が下がっていることが確認できる。 T_{BT} の約20もの上昇は、通常起こり得る一般的な給気温度変化の値とはかけ離れたものであり、しかも T_{BT} の上昇中に給気温度が下がっていることから、 T_{BT} の値がヘリウム漏洩の影響を大きく反映したものであることが確認できる。この原因是、実験1に比べて、キャニスター3内のヘリウムの対流効果の失われる度合いが大きいためと考えられる。

【0055】

図13は、通常時(キャニスター3内のゲージ圧:56 kPa)、加圧時(キャニスター3内のゲージ圧:151 kPa)、ヘリウム漏洩時(キャニスター3内のゲージ圧:0 kPa)の各定常状態におけるキャニスター3の高さ方向の温度分布を示す。図13の各グラフは各該当圧力の定常状態における測定点a～kで測定された温度をa～kの順に高さに従つて結んだものである。通常時(ゲージ圧56 kPa)の場合、 T_{BT} は17.9であり、加圧時(ゲージ圧151 kPa)の場合、 T_{BT} は1.8であり、ヘリウム漏洩時(ゲージ圧0 kPa)の場合、 T_{BT} は23.9であった。この結果から、キャニスター3内の圧力が高いほど T_{BT} の値は小さくなり、その結果、キャニスター3内の圧力が高いほどヘリウムの漏洩による T_{BT} の増加が大きくなると考えられる。尚、通常時(ゲージ圧56 kPa)の場合において、キャニスター3の表面の温度が実験1の結果と若干異なつているのは、本実験3において排気口2の構造を若干変更したためと考えられる。

【0056】

<実験4>

10

20

30

40

50

実験 1 と異なる形状の流路 11 を有するコンクリートキャスク 10 を用いて、実験 1 よりもヘリウムの漏洩率を高めた実験を行った。即ち、図 19 に示す流路 11 を有するコンクリートキャスク 10 のキャニスタ 3 に開閉可能なバルブを設け、かつそのキャニスタ 3 内に、原子炉使用済燃料棒を模擬する電気ヒータを実際の使用済燃料棒と同条件で収容し、且つ大気圧レベル（ゲージ圧力で 0 kPa）でヘリウムガスを充填して、コンクリートキャスク 10 における使用済原子燃料の初期貯蔵状態（発熱量 22.6 kW）を模擬した。電気ヒータの発熱によりキャニスタ 3 の内圧は上昇し、ゲージ圧力で 56 kPa で定常状態となった。その後、図 2 に示す測定点 a ~ k に、それぞれ設置してある熱電対 7 によって、各測定点 a ~ k の温度を継続的に測定した。更にその後、キャニスタ 3 に設けたバルブを緩めて減圧し、キャニスタ 3 の内圧が大気圧レベル程度となるまで、急激にヘリウムガスを漏洩させた。図 14 および図 15 に、上記実験結果を示す。

【0057】

図 14 に、上記ヘリウム漏洩前後の T_{BT} の挙動を示す。ヘリウム漏洩の前後で T_{BT} の値は約 8 上昇している。この値は、実験 1 の結果（図 8 参照）と同じである。従つて、流路 11 の形状が異なっても、尚且つ急激なヘリウムの漏洩であっても、ヘリウムの漏洩が生じることによって T_{BT} の値が必然的にキャニスタ 3 内からヘリウムが抜けきった後の定常値に落ち着こうとする原理は変わらないことがわかる。また図 15 は、図 14 に示したヘリウムの漏洩前後における T_{BT} の挙動と併せて、給気温度の経時変化を示したものである。図 15 の矢印 C で指し示すように、 T_{BT} の値が急上昇している間に、給気温度が下がっていることが確認できる。よって、給気温度が下がっているにもかかわらず T_{BT} が上昇している場合、換言すれば給気温度の低下と T_{BT} の上昇が同時に確認できる場合には、ヘリウムガスが漏洩している可能性が極めて高いと判断できる。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図 1】本発明の放射性物質密閉容器のガス漏洩検知方法および装置の実施の一形態を示す概略構成図である。

【図 2】本発明の有用性を裏付ける実験におけるキャニスタ外面上の温度測定点の位置を示す図である。

【図 3】上記実験におけるヘリウム漏洩前後のキャニスタ内のヘリウム圧力変化、キャニスタ外表面温度および給気温度の変化を示すグラフである。

【図 4】ヘリウム漏洩以前のキャニスタ外表面の温度分布を示すグラフである。

【図 5】ヘリウム漏洩以後のキャニスタ外表面の温度分布を示すグラフである。

【図 6】ヘリウム漏洩以前のキャニスタ外表面の温度変化を示すグラフである。

【図 7】ヘリウム漏洩以後のキャニスタ外表面の温度変化を示すグラフである。

【図 8】 T_{BT} （キャニスタの底面中心温度と頂面中心温度との差）とヘリウムの漏洩によるキャニスタ内の圧力変化との関係を示すグラフである。

【図 9】 T_{BT} と給気温度との関係を示すグラフである。

【図 10】 T_{BT} とキャニスタの発熱量との関係を示すグラフである。

【図 11】 T_{BT} とキャニスタ内の圧力との関係を示すグラフである。

【図 12】図 11 における T_{BT} と給気温度との関係を示すグラフである。

【図 13】キャニスタ内の圧力とキャニスタ表面温度との関係を示すグラフである。

【図 14】異なる冷却空気流路での T_{BT} とキャニスタ内の圧力との関係を示すグラフである。

【図 15】図 14 における T_{BT} と給気温度との関係を示すグラフである。

【図 16】コンクリートキャスクの構造の一例を示す構成図である。

【図 17】キャニスタの構造の一例を示す構成図である。

【図 18】コンクリートキャスクの冷却空気流路の一例を示す構成図である。

【図 19】コンクリートキャスクの冷却空気流路の他の例を示す構成図である。

【図 20】図 3 におけるキャニスタ外表面温度の変化を示すグラフである。

10

20

30

40

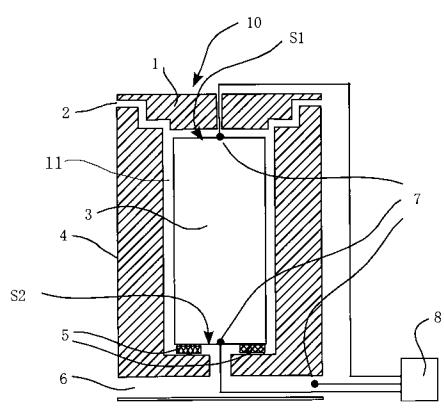
50

【符号の説明】

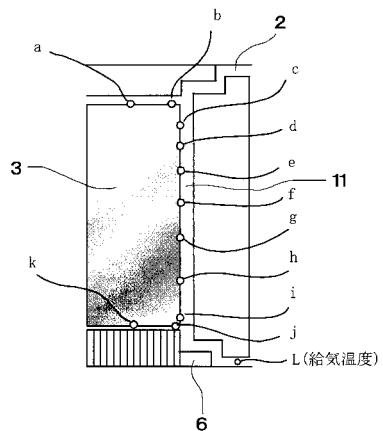
【0059】

- 1 蓋体
 2 排気口
 3 キャニスター（密閉容器）
 4 コンクリート容器（遮蔽構造体）
 5 支持脚
 6 給気口
 7 温度センサ
 8 温度計測装置
 9 放射性物質（使用済原子燃料）
 10 コンクリートキャスク（放射性物質貯蔵容器）
 11 流路
 12 ライナ
 13 一次蓋
 14 二次蓋
 15 容器本体
 S1 頂面
 S2 底面
- 10

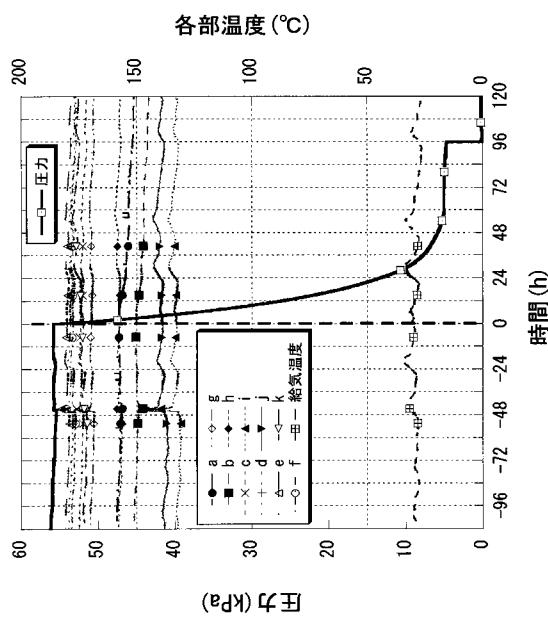
【図1】



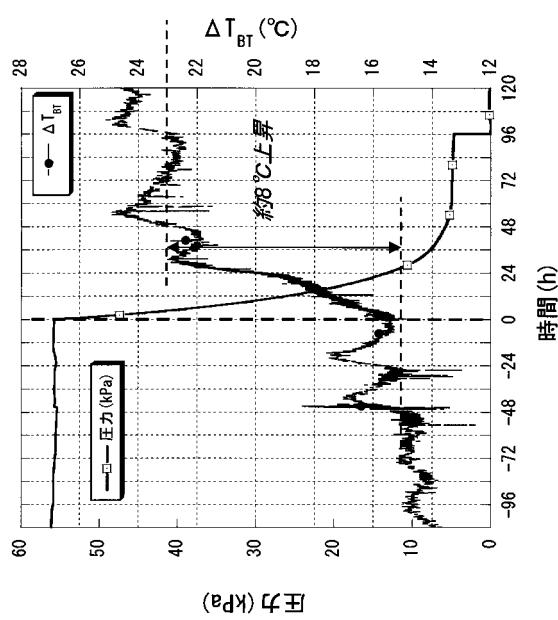
【図2】



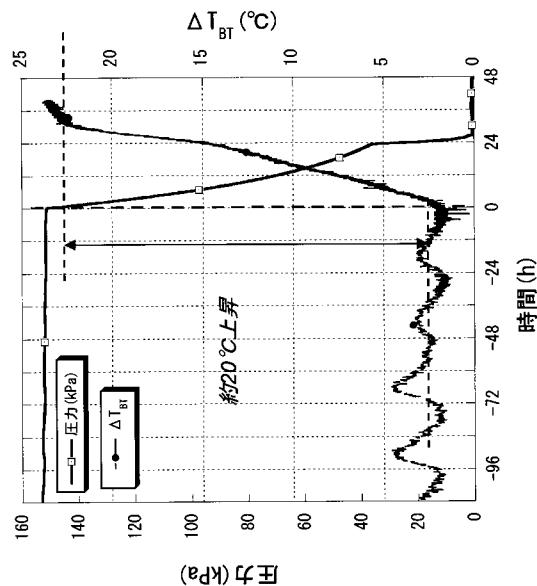
【図3】



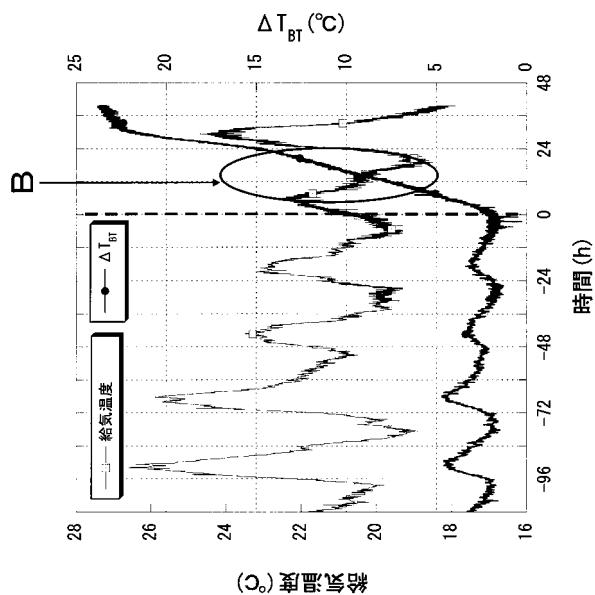
【図8】



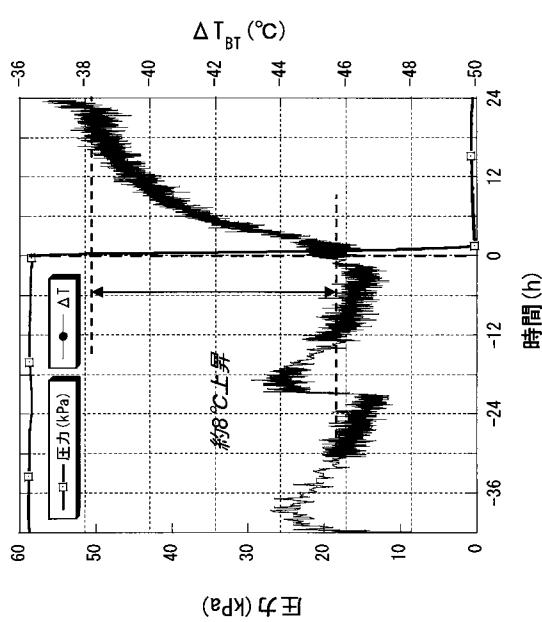
【図11】



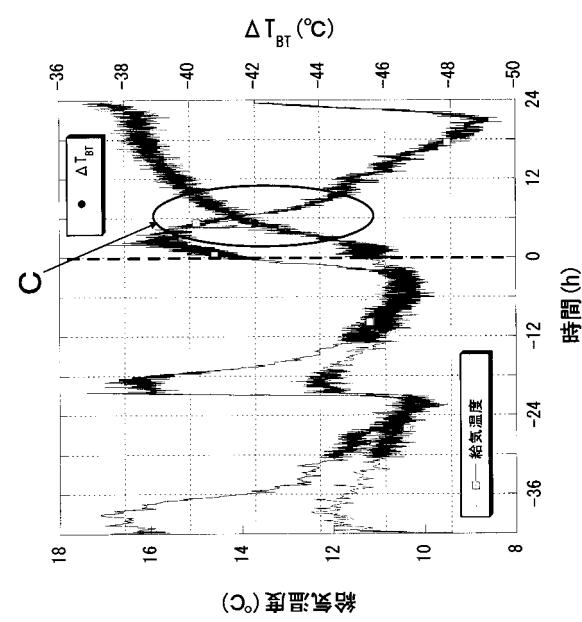
【図12】



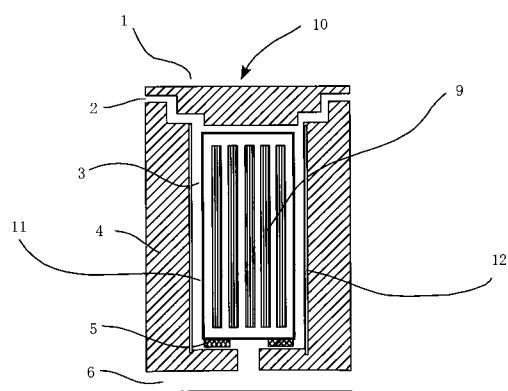
【図14】



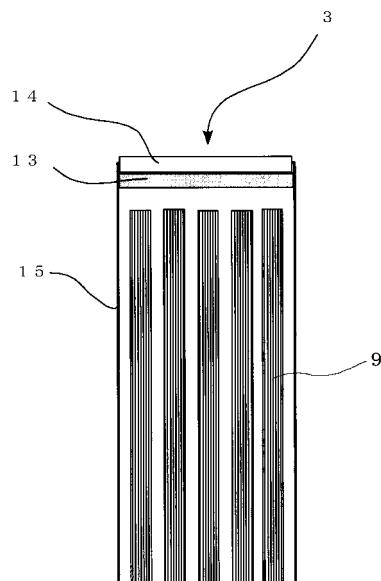
【図15】



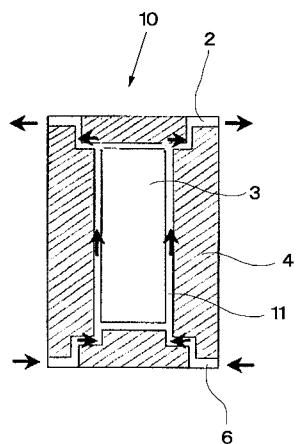
【図16】



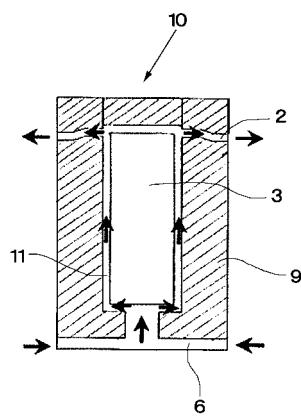
【図17】



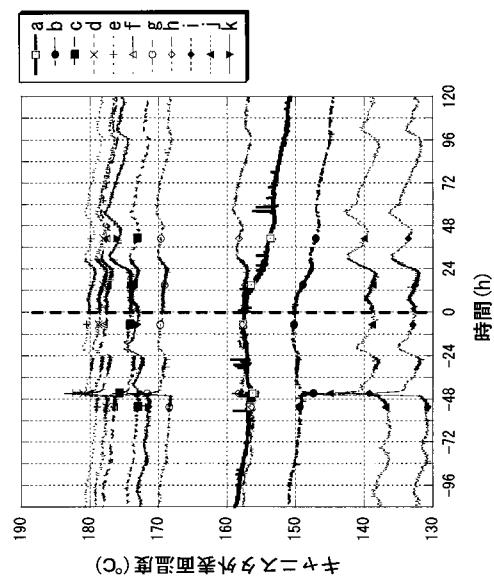
【図18】



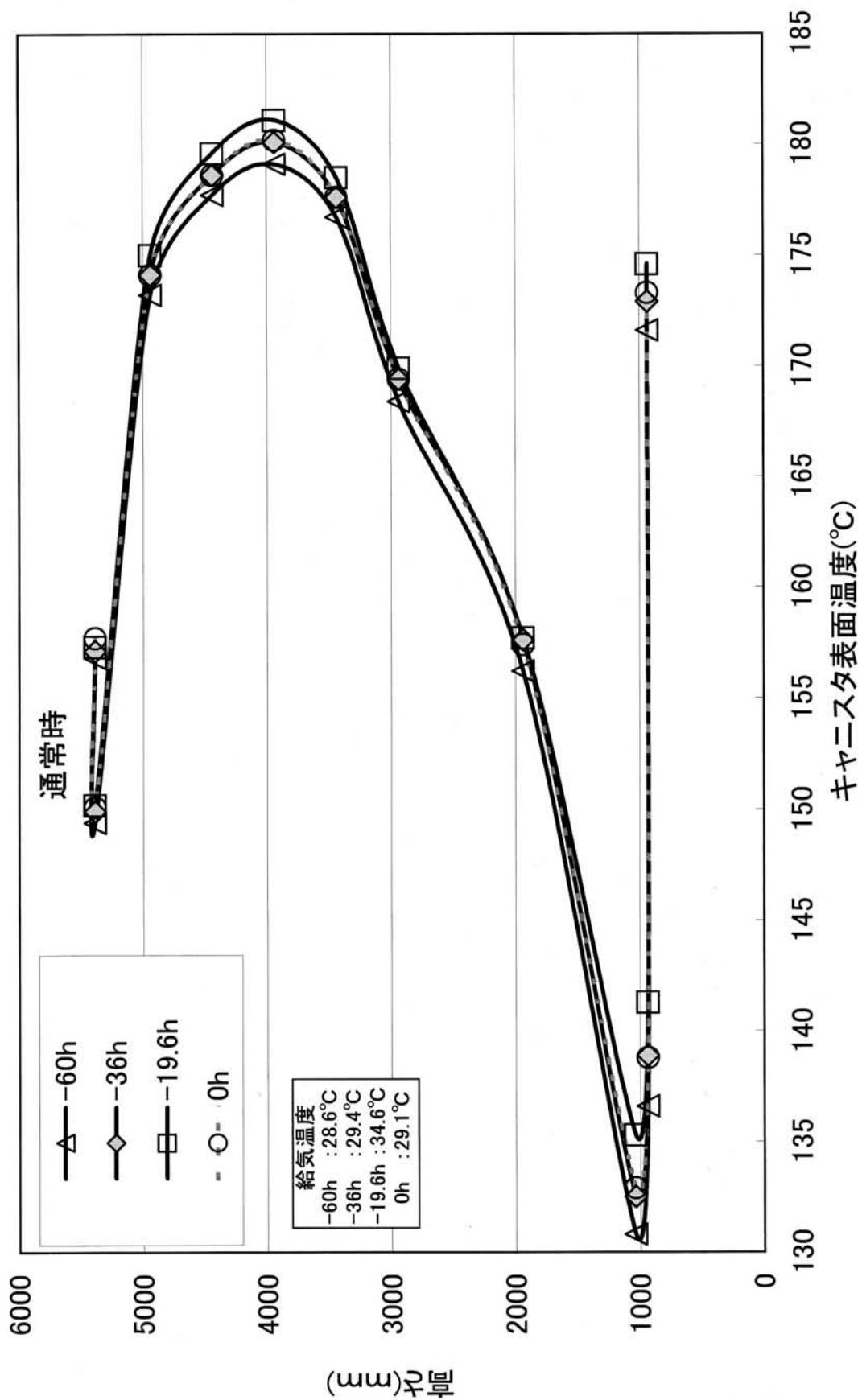
【図19】



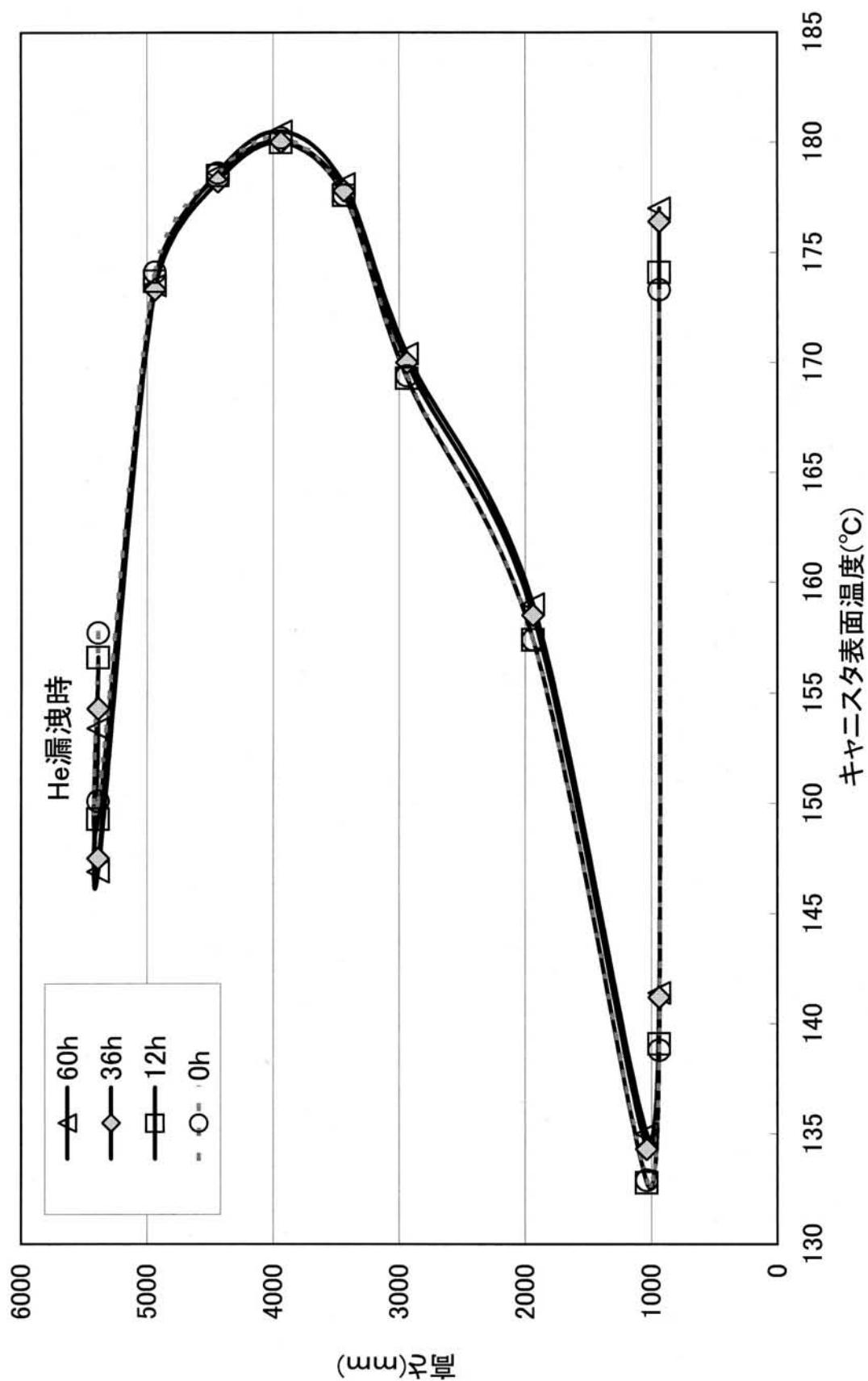
【図20】



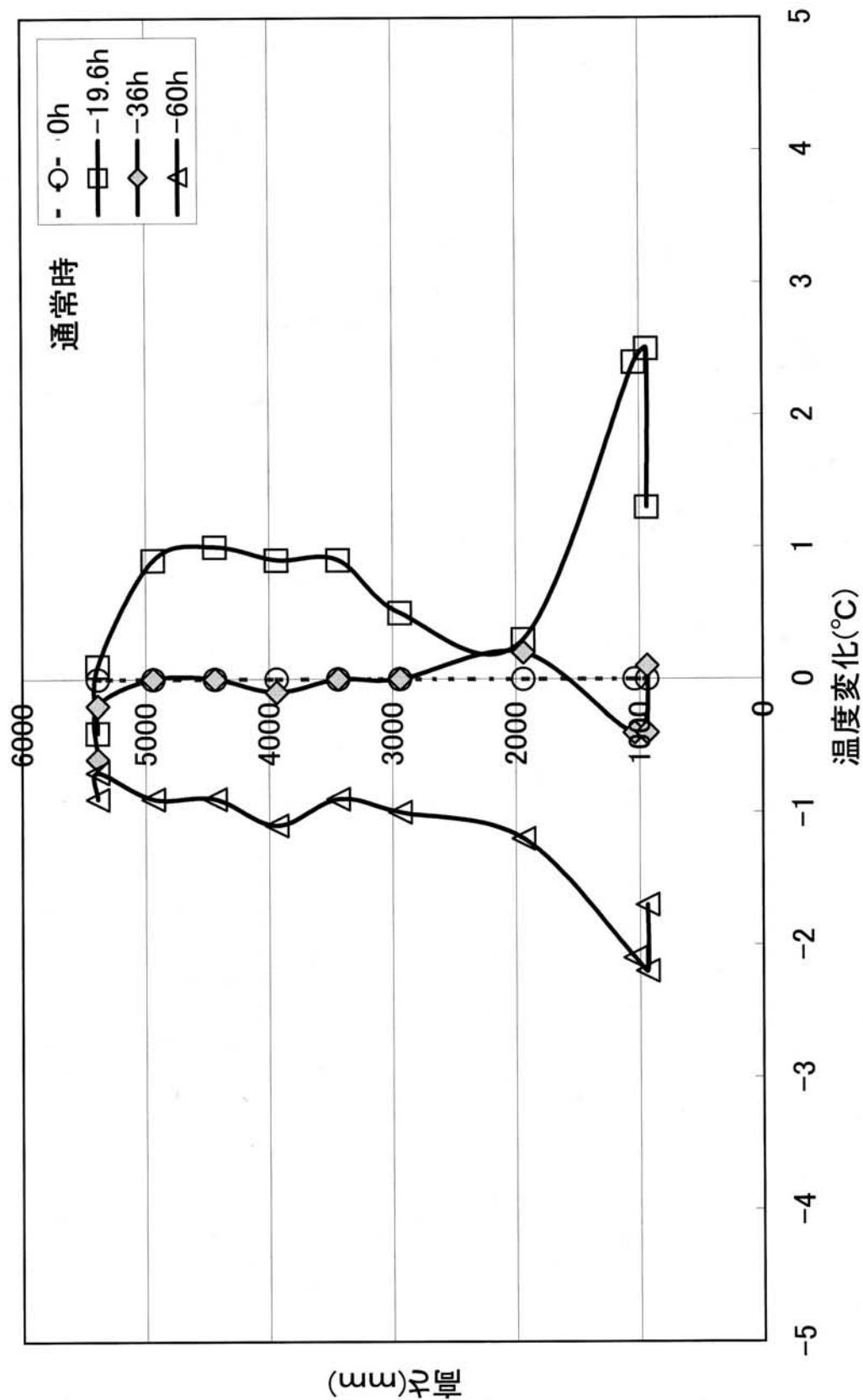
【図4】



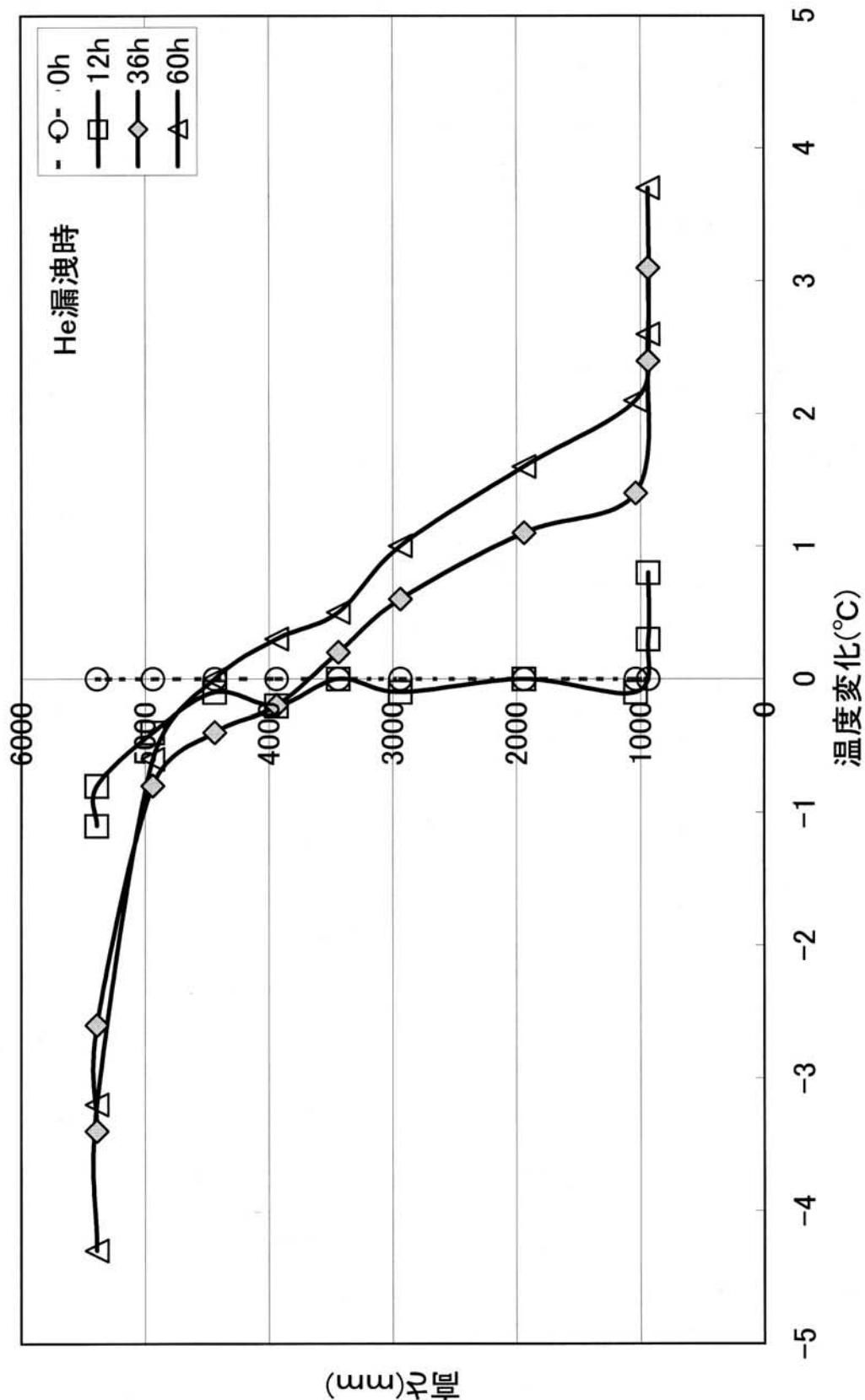
【図5】



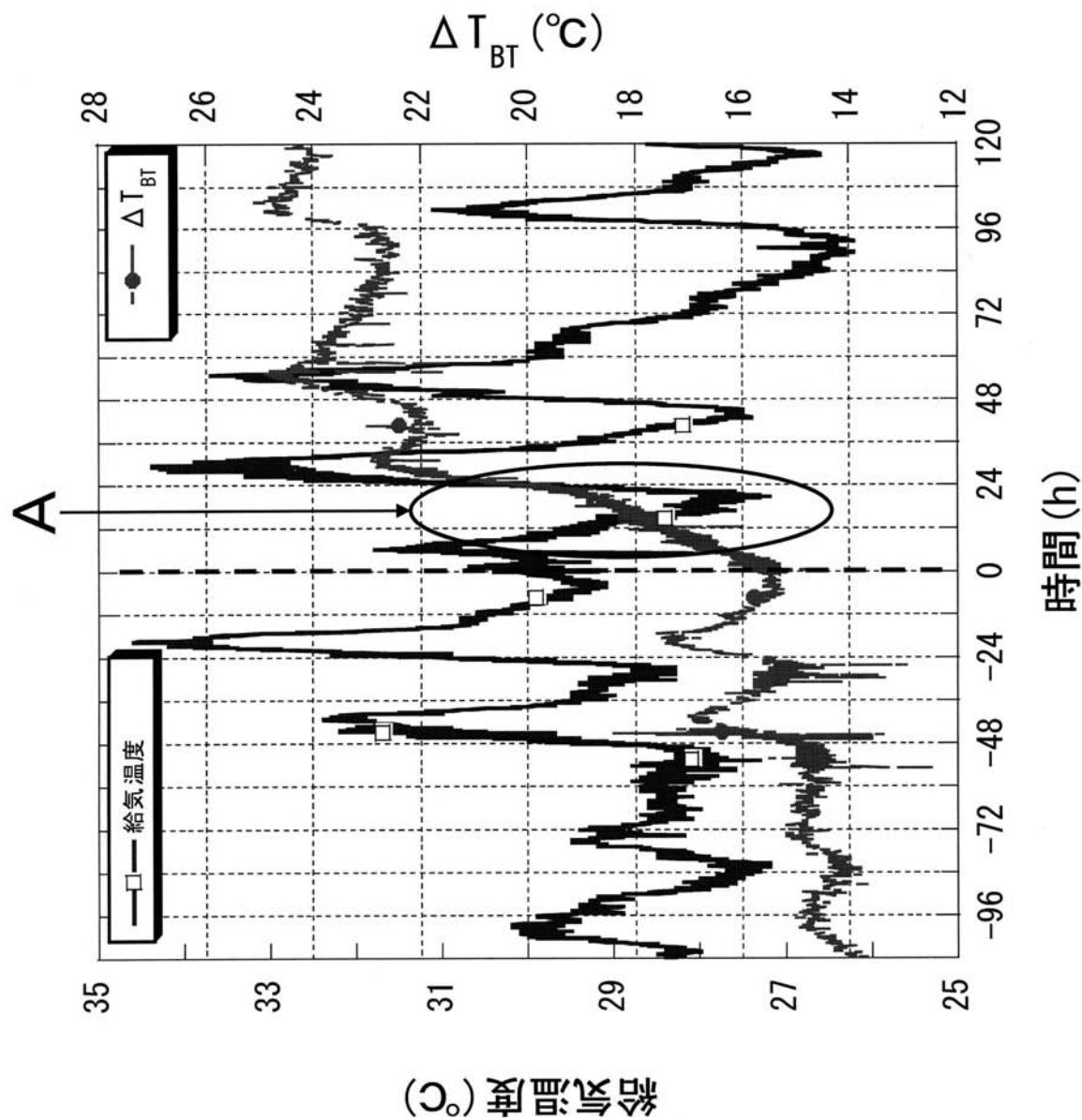
【図6】



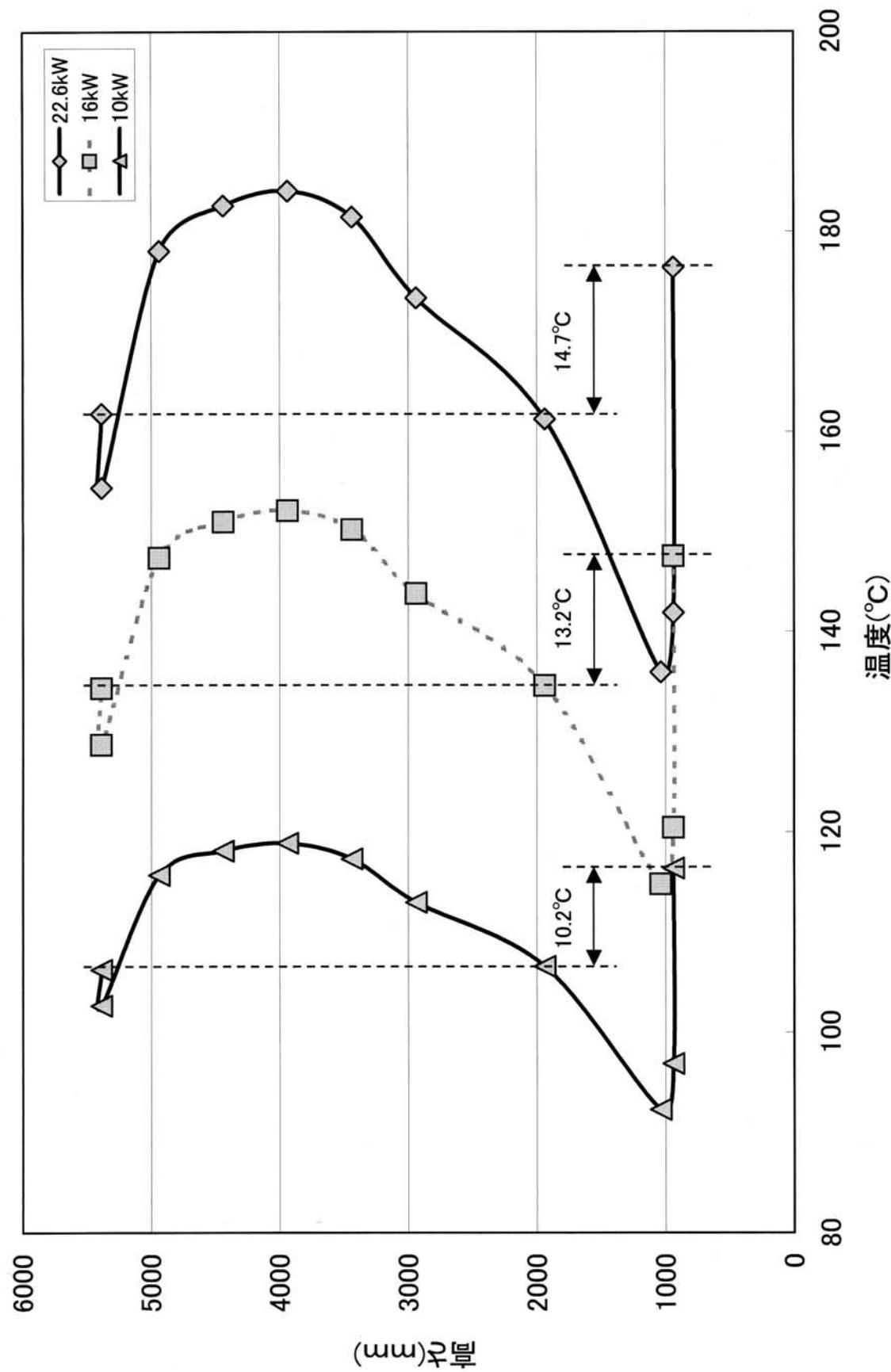
【図7】



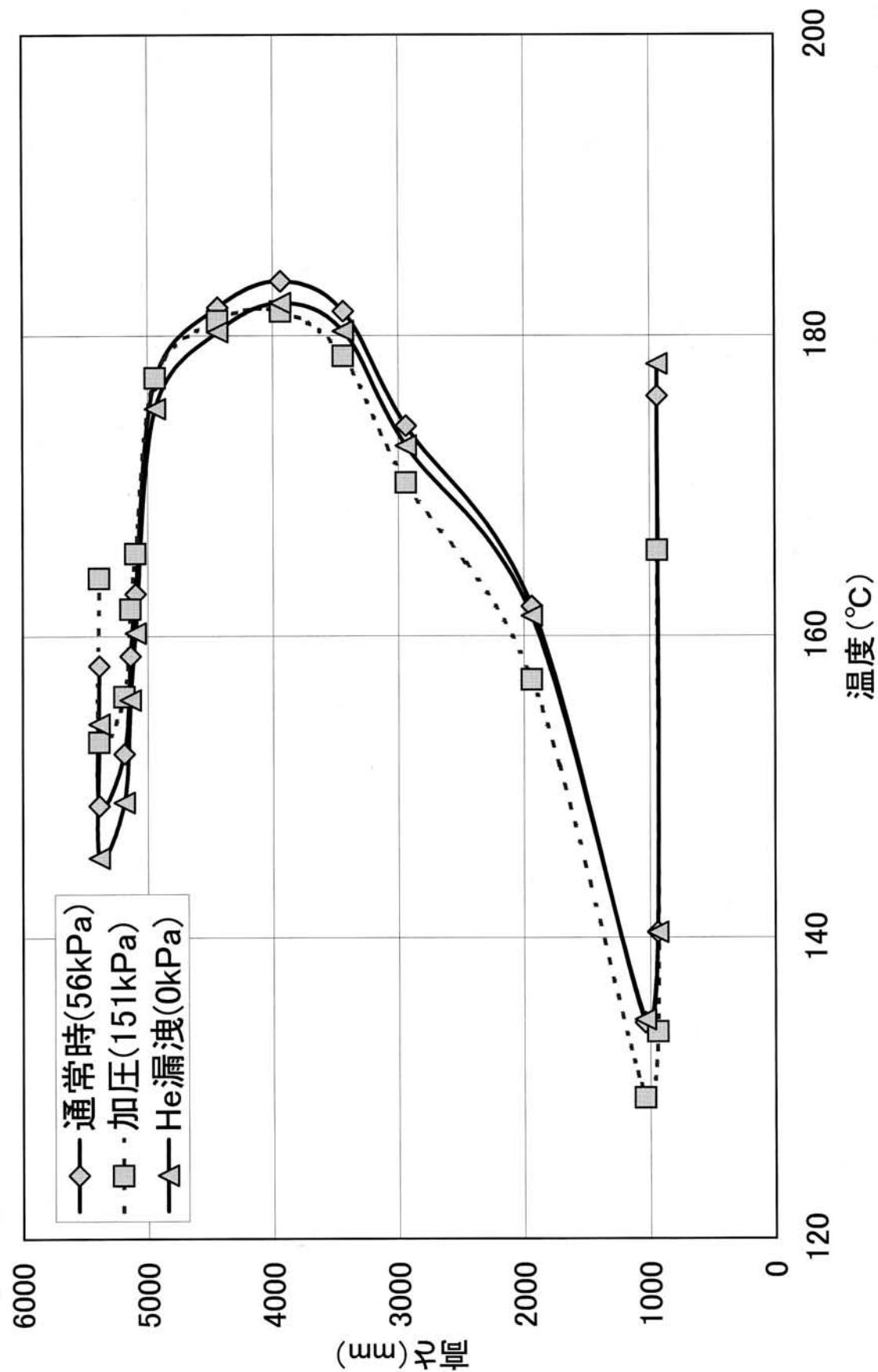
【図9】



【図10】



【図13】



フロントページの続き

(72)発明者 三枝 利有

千葉県我孫子市我孫子1646番地 財団法人電力中央研究所 我孫子研究所内

審査官 中塚 直樹

(56)参考文献 特開2004-226385 (JP, A)

特開2003-240891 (JP, A)

特開2003-207596 (JP, A)

特開2002-202400 (JP, A)

特開2002-202396 (JP, A)

特開2004-077124 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 21 F 9 / 36

G 01 M 3 / 02

G 21 F 5 / 12

G 21 C 19 / 06