

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公 開 特 許 公 報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2021-57207
(P2021-57207A)

(43) 公開日 令和3年4月8日(2021.4.8)

(51) Int. Cl.
H05H 9/00 (2006.01)

F I
H05H 9/00
H05H 9/00

E
A

テーマコード (参考)
2G085

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 (22) 出願日	特願2019-179643 (P2019-179643) 令和1年9月30日 (2019.9.30)	(71) 出願人 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 茨城県つくば市大穂1番地1 (74) 代理人 100163533 弁理士 金山 義信 (72) 発明者 方 志高 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構内 (72) 発明者 佐藤 将春 茨城県つくば市大穂1番地1 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構内
		最終頁に続く

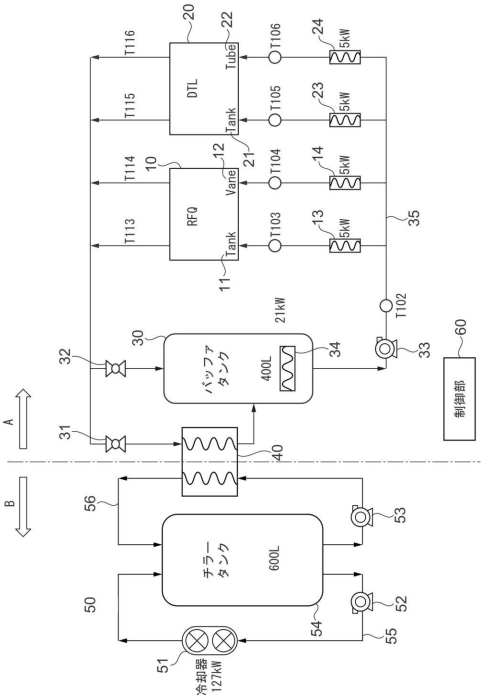
(54) 【発明の名称】 加速器の冷却システム及び加速器の温度管理方法

(57) 【要約】

【課題】 加速器の熱負荷が急激に変化しても安定した運転を行う。

【解決手段】 加速空洞10、20とバッファタンク30との間で冷却水が循環する流路35と、加速空洞10、20の入口側に設けられた加速器ヒータ13、14、23、24と、加速空洞10、20の入口水温を検出するセンサT103～T106と、バッファタンク30へ流入する流量が調節可能とされたバルブ31、32と、加速器ヒータ13、14、23、24のパワーを調整する加熱コントローラ62と、バルブ31、32を開度調節する冷却コントローラ63と、加速空洞10、20の運転状況データを取得する運転状況データ取得部64と、運転状況データに基づいて目標水温を設定して加熱コントローラ62、冷却コントローラ63を制御するシステムコントローラ61と、を有する制御部60を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

荷電粒子を高エネルギーまで加速する加速器に用いる加速空洞と、
前記加速空洞に入力される R F 電源と、
前記加速空洞とバッファタンクとの間で冷却水が循環する流路と、
前記流路において前記加速空洞の入口側に設けられた加速器ヒータと、
前記加速空洞の入口水温を検出するセンサと、
開度調節により前記バッファタンクへ流入する流量が調節可能とされたバルブと、
前記加速器ヒータ及び前記バルブを前記入口水温に基づいて制御する制御部と、
を有し、前記制御部は、
前記加速器ヒータのパワーを調整する加熱コントローラと、
前記バルブを開度調節する冷却コントローラと、
前記加速空洞の運転状況データを取得する運転状況データ取得部と、
前記運転状況データに基づいて目標水温を設定して前記加熱コントローラ、前記冷却コ
ントローラを統括的に協調制御するシステムコントローラと、
を備えた加速器の冷却システム。

10

【請求項 2】

前記加速空洞が励振された信号を検出する R F センサを備え、前記運転状況データは、
前記 R F 電源の周波数と、励振された前記信号と、の位相ずれの情報を有している請求項
1 に記載の加速器の冷却システム。

20

【請求項 3】

前記運転状況データは、前記 R F 電源の O N / O F F 情報を有している請求項 1 又は 2
に記載の加速器の冷却システム。

【請求項 4】

前記冷却コントローラによる冷却能力は、前記加熱コントローラによる加熱能力の 4 0
～ 6 0 %、望ましくは 5 0 % で前記目標水温となるように設定される請求項 1 から 3 のい
ずれか 1 項に記載の加速器の冷却システム。

【請求項 5】

前記入口水温が安定度閾値 (T_{s1}) 以上離れている場合、前記加速器ヒータのパワーを調
整し、安定度閾値 (T_{s1}) に収まった場合、前記加速器ヒータのパワーを調整しないことを
特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の加速器の冷却システム。

30

【請求項 6】

前記バッファタンクの出口側に設けられたタンクヒータと、
前記バッファタンクの出口水温を検出するタンクセンサと、
を備え、前記冷却コントローラは、前記タンクヒータの最大パワーの 5 0 % になるように
タンクヒータパワー閾値に応じて前記バルブの開度を調節する請求項 1 から 5 のいずれか
1 項に記載の加速器の冷却システム。

【請求項 7】

前記目標水温は、前記 O N / O F F 情報に対して、それぞれに異なった値を設定する請
求項 3 に記載の加速器の冷却システム。

40

【請求項 8】

前記目標水温は、前記 R F 電源の O F F 時は高くし、前記 R F 電源の O N 時は、低く設
定する請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の加速器の冷却システム。

【請求項 9】

前記加熱コントローラは、前記バッファタンクに設けられた前記タンクヒータのパワー
を調整するタンクヒータコントローラを有し、
前記タンクヒータのパワーの調整は、前記バッファタンクの出口水温が前記バッファタ
ンクの目標水温よりもタンク安定度閾値 (T_{st2}) 以上離れており、
前記バッファタンクの出口水温 < 前記バッファタンクの目標水温の場合、前記タンクヒ
ータのパワーは前記最大パワーとし、

50

前記バッファタンクの出口水温 > 前記バッファタンクの目標水温の場合、前記タンクヒータのパワーは 0 とする請求項 6 に記載の加速器の冷却システム。

【請求項 10】

前記システムコントローラは、

前記位相ずれが位相閾値の上限より大きい場合、前記目標水温を調整し、前記位相ずれが前記位相閾値の下限より小さくなった場合、調整を終了する請求項 2 に記載の加速器の冷却システム。

【請求項 11】

荷電粒子を高エネルギーまで加速する加速空洞と、

前記加速空洞とバッファタンクとの間で冷却水が循環する流路と、

前記流路において前記加速空洞の入口側に設けられた加速器ヒータと、

前記加速空洞の入口水温を検出するセンサと、

開度調節により前記バッファタンクへ流入する流量が調節可能とされたバルブと、

前記加速器ヒータ及び前記バルブを前記入口水温に基づいて制御する制御部と、

を有した加速器の温度管理方法であって、

加熱コントローラは前記加速器ヒータのパワーを調整し、冷却コントローラは前記バルブを開度調節し、システムコントローラは、前記加速空洞の運転状況データに基づいて目標水温を設定して前記加熱コントローラ、前記冷却コントローラを統括的に協調制御することを特徴とする加速器の温度管理方法。

【請求項 12】

前記加速空洞が励振された信号を検出する RF センサを備え、前記運転状況データは、前記加速空洞に入力される RF 電源の周波数と、前記信号との位相ずれの情報を有している請求項 11 に記載の加速器の温度管理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冷却水を高熱負荷装置に循環させ、迅速かつ安定な水温制御を行う冷却システム及び加速器の温度管理方法に関し、特に、荷電粒子を高エネルギーまで加速する加速器に用いる加速空洞を一定温度に維持するものに好適である。

【背景技術】

【0002】

加速器で加速された高エネルギー粒子ビームは、ガン治療や医療用品の殺菌、硫黄化合物や窒素化合物の分解などの環境改善装置、シンクロトロン光利用や蓄積リング自由電子レーザの発生など、多くの分野で応用技術開発が進められている。加速器に用いられる加速空洞は、極めて高い Q 値を持った多数の共振キャビティ（加速空洞）を備えて、荷電粒子の加速は、加速構造内に高周波電源（RF 電源）として共振周波数のマイクロ波を入力し、加速粒子とほぼ同じ位相速度を有する加速電界を発生させることにより行う。

【0003】

したがって、質の高い荷電粒子ビームを形成するためには加速空洞における共振モードと励振するマイクロ波の振動数が正確に合致する必要がある。しかし、加速空洞は、熱膨張率が比較的大きい金属で形成されるため、各共振キャビティの形状は温度に大きく影響される。そして、高周波電源を入力した際には、加速空洞を構成する周壁表面の電気抵抗によって加速空洞に熱が発生し、その結果、熱膨張によって加速空洞の寸法が変化する。

【0004】

それにより、加速空洞の共振キャビティの寸法形状が所定の値とずれると、加速空洞の共振周波数が変化したり、加速空洞に入力された加速用のマイクロ波は大きく反射されたり、して加速器定常の運転制御また運転維持ができなくなる。加速空洞の温度は、時間的に一定にしかつ加速空洞全体の温度分布を均一にする必要がある。

【0005】

また、放射線治療は、放射線を患部に体外及び体内から照射する治療法であり、陽子線

10

20

30

40

50

治療や重粒子線治療、定位放射線・マクロ的ピンポイント照射などとして進展している。しかし、X線、重粒子線、陽子線は、照射の必要が無い正常な細胞へも影響を与える恐れがある。そこで、BNCT（ホウ素中性子捕捉療法）は、中性子を発生させるために原子炉に代わって加速器を用いることで、正常な神経細胞を保護し、がん細胞を選択して、ミクロン単位で一つ一つ死滅させる治療法として注目されている。

【0006】

BNCT用「直線型陽子線加速器」（以下、BNCT陽子加速器）は、大型科学研究施設用ではなく、将来的に多くの医療機関に普及することを目指しているため、できるだけ低コストで、高性能であることが望まれる。したがって、BNCT陽子加速器は、低コストと高性能の両立が必要であり、医療用高周波加速器として小容量の冷却水循環システムが必要とされている。

10

【0007】

通常の加速器は、安定運転のため、十分な冷却能力の余裕を持つ冷却水循環システムを設置する。そして、加速器は、冷却流体を通過可能とする流路が加速空洞の周壁に設けられ、この流路を流れる冷却流体によって加速空洞が一定温度に維持されており、流路の入口を通過する冷却流体の入口温度が一定となるように制御されている。

【0008】

また、特許文献1は、従来のRFQ（Radio Frequency Quadrupole Linac：高周波4重極型リニアック）（RFQ空洞）型の加速器において、加速空洞の発熱量を増加させた場合でも、冷却水の流量を増加させずに一定温度に維持可能とするため、冷却路の入口を通過する冷却水の入口温度と冷却流体の出口温度との温度差を許容しながら加速空洞への入力電力に基づいて入口温度の設定値を定めることを記載している。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特許第6444235号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

特許文献1に記載のものは、単に、入力電力に基づいて入口温度の設定値を定めるだけなので、高熱負荷の加速器に対して小容量の冷却水循環システムとするためには、高熱負荷の急激変化、例えば、加速器運転再開の際などに対して迅速な水温制御が困難であった。また、RFQ空洞の共振周波数を安定にするための水温制御としては十分とは言い難く、医療用高周波加速器へ発展させることは困難であった。

30

【0011】

本発明の目的は、上記従来技術の課題を解決し、加速器の特性に応じて水温制御を最適に行い、運転状況に応じて、例えば、加速器の熱負荷が急激に変化しても安定した運転が可能であり、医療用治療装置として適した加速器の冷却水循環システム及び温度管理方法を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するため、本発明は、荷電粒子を高エネルギーまで加速する加速器に用いる加速空洞と、前記加速空洞に入力されるRF電源（高周波電源）と、前記加速空洞とバッファタンクとの間で冷却水が循環する流路と、前記流路において前記加速空洞の入口側に設けられた加速器ヒータと、前記加速空洞の入口水温を検出するセンサと、開度調節により前記バッファタンクへ流入する流量が調節可能とされたバルブと、前記加速器ヒータ及び前記バルブを前記入口水温に基づいて制御する制御部と、を有し、前記制御部は、前記加速器ヒータのパワーを調整する加熱コントローラと、前記バルブを開度調節する冷却コントローラと、前記加速空洞の運転状況データを取得する運転状況データ取得部と、

50

前記運転状況データに基づいて目標水温を設定して前記加熱コントローラ、前記冷却コントローラを統括的に協調制御するシステムコントローラと、を備える。

【0013】

また、上記の加速器の冷却システムにおいて、前記加速空洞が励振された信号を検出するRFセンサを備え、前記運転状況データは、前記RF電源の周波数と、前記信号との位相ずれの情報を有していることが望ましい。

【0014】

さらに、上記の加速器の冷却システムにおいて、前記運転状況データは、前記RF電源のON/OFF情報を有していることが望ましい。

【0015】

さらに、上記の加速器の冷却システムにおいて、前記冷却コントローラによる冷却能力は、前記加熱コントローラによる加熱能力の40～60%、望ましくは50%で前記目標水温となるように設定されることが望ましい。

【0016】

さらに、上記の加速器の冷却システムにおいて、前記入口水温($T_{mon\ acc(i)}$)が安定度閾値(T_{s1})以上離れている場合、前記加速器ヒータのパワーを調整し、安定度閾値(T_{s1})に収まった場合、前記加速器ヒータのパワーを調整しないことが望ましい。

【0017】

さらに、上記の加速器の冷却システムにおいて、前記バッファタンクの出口側に設けられたタンクヒータと、前記バッファタンクの出口水温を検出するタンクセンサと、を備え、前記冷却コントローラは、前記タンクヒータの最大パワーの50%になるようにタンクヒータパワー閾値に応じて前記バルブの開度を調節することが望ましい。

【0018】

さらに、上記の加速器の冷却システムにおいて、前記目標水温は、前記目標水温は、前記ON/OFF情報に対して、それぞれに異なった値を設定することが望ましい。

【0019】

さらに、上記の加速器の冷却システムにおいて、前記目標水温は、前記RF電源のOFF時は少し高くし、前記RF電源のON時は、少し低く設定することが望ましい。

【0020】

さらに、上記の加速器の冷却システムにおいて、前記加熱コントローラは、前記バッファタンクに設けられた前記タンクヒータのパワー(P_{tank})を調整するタンクヒータコントローラを有し、前記タンクヒータのパワー(P_{tank})の調整は、前記バッファタンクの出口水温($T_{mon\ tank}$)が前記バッファタンクの目標水温($T_{tar\ tank}$)よりもタンク安定度閾値(T_{st2})以上離れており、前記バッファタンクの出口水温($T_{mon\ tank}$)<前記バッファタンクの目標水温($T_{tar\ tank}$)の場合、前記タンクヒータのパワー(P_{tank})は前記最大パワー($P_{tank\ max}$)とし、前記バッファタンクの出口水温($T_{mon\ tank}$)>前記バッファタンクの目標水温($T_{tar\ tank}$)の場合、前記タンクヒータのパワー(P_{tank})は0とすることが望ましい。

【0021】

さらに、上記の加速器の冷却システムにおいて、前記システムコントローラは、前記位相ずれ($\Delta\theta_{RFQ}$)が位相閾値の上限($\Delta\theta_H$)より大きい場合、前記目標水温を調整し、前記位相ずれ($\Delta\theta_{RFQ}$)が前記位相閾値の下限($\Delta\theta_L$)より小さくなった場合、調整を終了することが望ましい。

【0022】

上記目的を達成するため、本発明は、荷電粒子を高エネルギーまで加速する加速空洞と、前記加速空洞とバッファタンクとの間で冷却水が循環する流路と、前記流路において前記加速空洞の入口側に設けられた加速器ヒータと、前記加速空洞の入口水温を検出するセンサと、開度調節により前記バッファタンクへ流入する流量が調節可能とされたバルブと、前記加速器ヒータ及び前記バルブを前記入口水温に基づいて制御する制御部と、を有した加速器の温度管理方法であって、加熱コントローラは前記加速器ヒータのパワーを調整

10

20

30

40

50

し、冷却コントローラは前記バルブを開度調節し、システムコントローラは、前記加速空洞の運転状況データに基づいて目標水温を設定して前記加熱コントローラ、前記冷却コントローラを統括的に協調制御する。

【 0 0 2 3 】

また、上記において、前記加速空洞が励振された信号を検出する R F センサを備え、前記運転状況データは、前記加速空洞に入力される R F 電源の周波数と、前記信号との位相ずれの情報を有していることが望ましい。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 4 】

本発明によれば、加速器の冷却システムとして、加速空洞の入口側に設けられた加速器ヒータと、加速空洞の入口水温を検出するセンサと、開度調節によりバッファタンクへ流入する流量が調節可能とされたバルブと、加速器ヒータパワーを調整する加熱コントローラと、バルブを開度調節する冷却コントローラと、を有し、加速空洞の運転状況データに基づいて目標水温を設定して加熱コントローラ、冷却コントローラを統括制御するので、安定した運転が可能であり、医療用治療装置として適した加速器の冷却システムを得ることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 5 】

【 図 1 】 本発明による一実施形態に係る加速器の冷却水循環システムの構成図

【 図 2 】 本発明による一実施形態に係る B N C T 治療装置の概略構成図

【 図 3 】 一実施形態に係る R F Q 空洞 1 0 の概略断面図

【 図 4 】 一実施形態に係る D T L 空洞 2 0 の概略斜視図

【 図 5 】 一実施形態による制御部 6 0 の基本構成を示すブロック図

【 図 6 】 一実施形態によるバッファタンク制御の基本概念を説明する図

【 図 7 】 一実施形態による加速器空洞 (R F Q 空洞 1 0) の概略外観図

【 図 8 】 一実施形態による目標水温の自動設定フローチャート

【 図 9 】 一実施例における加速電場を立ち上げた時の R F Q 空洞の入口水温、出口水温の時間変化を示すグラフ

【 図 1 0 】 一実施例における水温の安定度を示すグラフ

【 図 1 1 】 一実施例における水温の安定度を示すグラフ

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 6 】

以下に、本発明の一実施形態について図面を参照して詳細に説明する。図 1 は B N C T 陽子加速器の冷却水循環システムの構成図を示す。B N C T 陽子加速器は、次世代がん治療として注目され、病院等へ設置することを目的としている。そのため、短時間で加速器を安定させることが非常に重要であり、小規模の冷却水循環システムでも加速器の安定運転ができる必要がある。また、冷却システムは、加速器の運転状況に応じて、迅速に応答する必要がある、特に、加速器を起動させてから安定するまでの時間を短縮しなければならない。

【 0 0 2 7 】

図 2 は、B N C T 治療装置の概略構成図を示している。B N C T 治療装置の加速器 (B N C T 陽子加速器) は、荷電粒子を高エネルギーまで加速する加速空洞として、R F Q (R a d i o F r e q u e n c y Q u a d r u p o l e L i n a c : 高周波 4 重極型リニアック) 空洞 1 0 と、D T L (D r i f t T u b e L i n a c : ドリフトチューブリニアック) 空洞 2 0 の二種類で構成される。

【 0 0 2 8 】

B N C T 治療装置は、直線加速器である R F Q 空洞 1 0 、D T L 空洞 2 0 で加速された陽子線が中性子発生装置内のベリリウムという金属と反応して中性子を発生する。そして、B N C T 治療装置は、中性子のエネルギーを調整し、患者の病巣部に照射する。R F Q 空洞 1 0 及び D T L 空洞 2 0 は、いずれも導体の壁に囲まれた空洞共振器 (高周波加速空

10

20

30

40

50

洞)を励振し、高周波電源 (R F 電源) を入力電力として粒子を加速する加速器である。

【 0 0 2 9 】

図 3 は R F Q 空洞 1 0 の概略断面図、図 4 は D T L 空洞 2 0 の概略斜視図を示す。 R F Q 加速器はイオンビームを強収束しながら加速する装置で、高エネルギーイオン加速器の初段加速器とされ、円筒から突き出た 4 枚のベーン 1 2 で集束用の 4 極電場をつくる。そして、 R F Q 空洞 1 0 は、ベーン 1 2 へ通じる水路と、空洞外側を覆うように冷却ジャケットとなるタンク 1 1 を取り付けられている。

【 0 0 3 0 】

D T L 空洞 2 0 は、ドリフトチューブ 2 2 と呼ばれる中空導体を空洞内に吊しておき、ドリフトチューブ 2 2 内をイオンが進むようにしたものである。 D T L 空洞 2 0 は、 R F Q 空洞 1 0 と同様にドリフトチューブ 2 2 へ通じる水路と、空洞外側を覆うように冷却ジャケットとなるタンク 2 1 を取り付けられている。

10

【 0 0 3 1 】

R F Q 空洞 1 0 の共振周波数調整システムは冷却水循環システムを用いて水温で共振周波数を調整する。一方、 D T L 空洞 2 0 は、冷却水循環システムと可動式機械チューナーを用いて共振周波数を調整する。したがって、特に R F Q 空洞 1 0 は、十分な冷却能力、及び安定水温の維持が可能な冷却水循環システムが必要となる。

【 0 0 3 2 】

したがって、 R F Q 空洞 1 0 の温度管理方法は、単に水温を一定に保つのではなく、 R F Q 空洞 1 0 の共振周波数の位相変化 (位相ずれ) をモニタし、目標水温を位相ずれに応じて変化させて水温制御を行う。また、温度管理方法は、入力電力となる高周波電源 (R F 電源) の O N / O F F 情報による運転状況に応じて、次に生じる熱負荷の変化を予想して、短時間で安定運転となる制御を行う。

20

【 0 0 3 3 】

図 1 に示すように、矢印 B 側は冷却装置 5 0 であり、矢印 A 側は R F Q 空洞 1 0 、 D T L 空洞 2 0 へ冷却水を循環する流路 3 5 が設けられている冷却水循環システムである。冷却水循環システムは、流路 3 5 に冷却水を流すことで R F Q 空洞 1 0 、 D T L 空洞 2 0 を一定温度に維持する。

【 0 0 3 4 】

冷却装置 5 0 は、主に冷却器 5 1 、チラータンク 5 4 、ポンプ 5 2 、ポンプ 5 3 、熱交換器 4 0 、流路 5 5 、流路 5 6 で構成される。冷却器 5 1 で冷却された冷却水は、ポンプ 5 2 によって、流路 5 5 を介してチラータンク 5 4 に貯留される。チラータンク 5 4 に貯留された冷却水は、ポンプ 5 3 によって、流路 5 6 を介して熱交換器 4 0 を流れてチラータンク 5 4 へ戻る。

30

【 0 0 3 5 】

矢印 A 側の冷却水循環システムは、主にバッファタンク 3 0 、ポンプ 3 3 、流路 3 5 、 R F Q 空洞 1 0 、 D T L 空洞 2 0 、熱交換器 4 0 で構成される。バッファタンク 3 0 に貯留された冷却水は、ポンプ 3 3 によって、流路 3 5 を介して R F Q 空洞 1 0 、 D T L 空洞 2 0 を流れて、バッファタンク 3 0 へ戻るように循環する。

【 0 0 3 6 】

R F Q 空洞 1 0 、 D T L 空洞 2 0 を通った冷却水の一部は、分岐して第 1 バルブ 3 1 を通って熱交換器 4 0 に入り、冷却器 5 1 で冷却された冷却水と熱交換されてバッファタンク 3 0 へ流入する。第 2 バルブ 3 2 は、開度調節によりバッファタンク 3 0 へ流入する流量が調節可能とされており、同様に、第 1 バルブ 3 1 は、熱交換器 4 0 へ流入する流量が調節可能とされている。

40

【 0 0 3 7 】

流路 3 5 は、ポンプ 3 3 の出口で分岐され、冷却水は、 R F Q 空洞 1 0 、 D T L 空洞 2 0 のそれぞれに流入する。さらに、 R F Q 空洞 1 0 へ分岐された冷却水は、さらに、ベーン 1 2 とタンク 1 1 へ流入するように分岐される。 D T L 空洞 2 0 へ分岐された冷却水は、さらに、ドリフトチューブ 2 2 とタンク 2 1 へ流入するように分岐される。分岐された

50

冷却水は、R F Q 空洞 1 0 及び D T L 空洞 2 0 の出口側で合流してバッファタンク 3 0 へ向かう。冷却水は R F Q 空洞 1 0 及び D T L 空洞 2 0 とバッファタンク 3 0 との間を循環する。

【 0 0 3 8 】

流路 3 5 において R F Q 空洞 1 0 及び D T L 空洞 2 0 の入口側は、加速器ヒータ 1 3、1 4、2 3、2 4 が図 1 に示すように配置されている。また、バッファタンク 3 0 は、タンクヒータ 3 4 が設けられている。さらに、流路 3 5 は、R F Q 空洞 1 0 及び D T L 空洞 2 0 の入口水温を測定するセンサ T 1 0 3 ~ T 1 0 6 が設けられ、T 1 0 3 はタンク 1 1 の入口水温、T 1 0 4 はベーン 1 2 の入口水温を検出する。同様に、T 1 0 5 はタンク 2 1 の入口水温、T 1 0 6 はドリフトチューブ 2 2 の入口水温を検出する。また、タンクセンサ T 1 0 2 はバッファタンク 3 0 の出口水温を検出する。

10

【 0 0 3 9 】

制御部 6 0 は、R F Q 空洞 1 0 及び D T L 空洞 2 0 の入口水温、バッファタンク 3 0 の出口水温、運転状況データに基づいて目標水温を設定して、加速器ヒータ 1 3、1 4、2 3、2 4 のパワー、タンクヒータ 3 4 のパワー、第 1 バルブ 3 1、第 2 バルブ 3 2 の開度を制御する。

【 0 0 4 0 】

図 5 は、制御部 6 0 の基本構成を示すブロック図である。制御部 6 0 は、加熱コントローラ 6 2、冷却コントローラ 6 3、運転状況データ取得部 6 4 から構成される。システムコントローラ 6 1 は、加熱コントローラ 6 2、冷却コントローラ 6 3、運転状況データ取得部 6 4 と情報交換して加熱コントローラ 6 2、冷却コントローラ 6 3 を統括的に協調制御する。システムコントローラ 6 1 による制御の基本概念は、制御を乱す外的要因が発生した場合、コンピュータを利用して運転状況データ取得部 6 4 から得られる運転状況データに基づいて、前もってその影響を極力なくすように修正動作を行うフィードフォワード制御である。

20

【 0 0 4 1 】

運転状況データは、R F 電源の周波数と R F Q 空洞 1 0 の共振周波数の位相ずれ、R F 電源の O N / O F F 情報などである。システムコントローラ 6 1 は、運転状況データに基づいて目標水温を設定して、R F Q 空洞 1 0 及び D T L 空洞 2 0 を目標水温に近づける。特に、目標水温は、R F Q 空洞 1 0 の共振周波数を安定にするため、共振周波数の位相変化（位相ずれ）により自動設定される。

30

【 0 0 4 2 】

加熱コントローラ 6 2 は、加速器ヒータコントローラ 6 2 2 とタンクヒータコントローラ 6 2 4 を有する。加速器ヒータコントローラ 6 2 2 は、センサ T 1 0 3 ~ T 1 0 6 による加速器入口水温 6 2 1 に応じて目標水温を定めて加速器ヒータ 1 3、1 4、2 3、2 4 の能力（パワー）を調整する。タンクヒータコントローラ 6 2 4 は、タンクセンサ T 1 0 2 によるバッファタンク出口水温 6 2 3 に応じてタンクヒータ 3 4 を調整する。

【 0 0 4 3 】

冷却コントローラ 6 3 は、バルブ開度コントローラ 6 3 2 により、タンクヒータ 3 4 の最大パワーの 5 0 % になるようにタンクヒータパワー閾値 6 3 1 に応じて第 1 バルブ 3 1 開度を調節する。これにより、第 1 バルブ 3 1 及び第 2 バルブ 3 2 の開度は、タンクヒータ 3 4 のパワー調整で 1 0 0 % 確実に目標水温となるように制御できる範囲内とすることができる。

40

【 0 0 4 4 】

図 6 は、バッファタンク制御の基本概念を説明する図であり、上図は、バッファタンク 3 0 の出口水温の時間変化、下図は、タンクヒータ 3 4 のパワーの制御状態の時間変化を示している。冷却コントローラ 6 3 による冷却能力は、加熱コントローラ 6 2 による加熱能力が 4 0 ~ 6 0 %、望ましくは 5 0 % で加速器は目標水温となるように設定されている。

【 0 0 4 5 】

50

バッファタンク 30 の出口水温が目標水温より大きく離れている場合、タンク出口の水温を最速でバッファタンク 30 の目標水温に近づけるため、タンクヒータ 34 の加熱能力は 100% 又は 0% にする。バッファタンク 30 の出口水温 < 目標水温の場合、タンクヒータ 34 のパワーは最大パワーとし、バッファタンク 30 の出口水温 > 目標水温の場合、タンクヒータ 34 のパワーは 0 とする。

タンクヒータ 34 の加熱能力を 100% 又は 0% に維持する時間は、バッファタンク 30 の出口水温が目標水温に達するために必要な熱量から計算される。維持する時間が経過した時点 E で、タンクヒータ 34 のパワーは初期値 (50%) に戻す。その後、制御部 60 は、バッファタンク 30 の出口水温を監視する。バッファタンク 30 の出口水温が許容範囲を超えた時点 F 以降は、システムコントローラ 61 によって、加熱能力、冷却能力、RF 電源の ON/OFF、加速器の共振周波数の位相変化などに応じた制御を行う。

10

【0046】

RF 電源の ON/OFF 情報は、運転状況データ取得部 64 からシステムコントローラ 61 へ入力される。そして、第 2 バルブ 32 の開度の初期値は、RF 電源の ON と OFF のそれぞれに設定される。つまり、冷却開放度 (第 1 バルブ 31 の開度) は、RF 電源の ON/OFF の切り替えの際に、第 2 バルブ 32 の開度の初期値に予め定めた最適値を与え、それから調整制御を行う。

【0047】

これにより、加速器の水温は、RF 電源の ON/OFF の切り替えにより RFQ 空洞 10 に高熱負荷が急激変化する場合でも、できるだけ早く目標水温に達することができ、暴走もなく迅速な安定運転が可能となる。

20

【0048】

また、目標水温は、RF 電源の ON/OFF 情報に対して、それぞれに目標水温を独自に異なった値を設定する。例えば、RF 電源の OFF 時は少し高くし、RF 電源の ON 時は、少し低く設定する。

【0049】

これにより、加速器の入口水温は、RF 電源の OFF では、少し高くなり、加速器を予め温めることになる。そして、RF 電源が ON となる時は、加速器の入口水温が少し低くなるため、温度変化及び共振周波数からの離調を抑制することができ、加速電場立ち上げの所要時間を短くすることができる。

30

【0050】

次に、加速器ヒータコントローラ 622 の詳細を説明する。加速器ヒータ 13、14、23、24 による水温の上昇 (ΔT) は、

【数 1】

$$\Delta T = \frac{P_{acc} / 4.18}{q / 60}$$

P_{acc} : 加速器ヒータのパワー (kW)

q : 水の流量 (L/min)

4.18: 水の比熱

である。

【0051】

また、加速器ヒータ 13、14、23、24 の最大パワーによる水温上昇の最大値 (ΔT_{full}) は、

【数 2】

$$\Delta T_{full} = \frac{P_{acc_max}/4.18}{q/60}$$

P_{acc_max} : 加速器ヒータの最大定格パワー (kW)

である。

10

【0052】

加速器入口の目標水温 (T_{tar_acc}) に対し、運転時の加速器ヒータパワーの最適値及び初期値を 50 % とするので、

【数 3】

$$T_{tar_acc} = T_{tar_tank} + 0.5 \times \Delta T_{full}$$

T_{tar_tank} : バッファタンク 30 の目標水温

となる。

【0053】

加速器ヒータコントローラ 622 は、加速器ヒータ 13、14、23、24 の制御において、水温の安定度閾値 (T_{s1})、及び待ち時間 (W_{time_acc}) を設定する。加速器ヒータパワー ($P_{acc(i)}$) の調整を行うかどうかの判断は、各制御サイクルにおいて、待ち時間 (W_{time_acc}) 経過後、以下のように加速器入口のそれぞれの水温 $T_{mon_acc(i)}$ ($T_{103} \sim T_{106}$) に応じて行われる。なお、 i は、RFQ 空洞 10 のタンク 11、ベーン 12、DTL 空洞 20 のタンク 21、ドリフトチューブ 22 への冷却水の四つの経路を示す。待ち時間 (W_{time_acc}) = 2 秒、水温の安定度閾値 (T_{s1}) = 0.02 が望ましい。

30

【0054】

(a) 加速器入口のそれぞれの水温 $T_{mon_acc(i)}$ が水温の安定度閾値 (T_{s1}) 以上離れている場合、つまり、次式のように加速器入口の目標水温 (T_{tar_acc}) と加速器入口のそれぞれの水温 $T_{mon_acc(i)}$ との差が水温の安定度閾値 (T_{s1}) より大きい場合、つまり、

【数 4】

$$|T_{tar_acc} - T_{mon_acc}(i)| > T_{s1}$$

の場合、

加速器ヒータパワー ($P_{acc(i)}$) を次のように変化させる。

【数 5】

$$P_{acc}(i) = P_{acc0}(i) + \frac{T_{tar_acc} - T_{mon_acc}(i)}{\Delta T_{full}} \times P_{acc_max} \times G_{acc}$$

$P_{acc0}(i)$: 調整前の加速器ヒータパワー
 G_{acc} : 調整ゲイン

実際の使用値は、 $G_{acc} = 0.2$ が望ましい。

10

【0055】

(b) 加速器入口のそれぞれの水温 $T_{mon_acc}(i)$ が水温の安定度閾値 (T_{s1}) に収まった場合、つまり、

【数 6】

$$|T_{tar_acc} - T_{mon_acc}(i)| \leq T_{s1}$$

のとき、加速器ヒータパワー ($P_{acc}(i)$) = 調整前の加速器ヒータパワー $P_{acc0}(i)$ として、加速器ヒータパワーの調整は行わない。

【0056】

次に、タンクヒータコントローラ 624 の詳細を説明する。タンクヒータ 34 の水温上昇速さ ($\Delta T/t$) / min は次式となる。

【数 7】

$$\Delta T/t = 60 \times \frac{P_{tank}/4.18}{V}$$

P_{tank} : タンクヒータパワー (kW)

V : 冷却水循環システム内の水の量 (L)

【0057】

タンクヒータ 34 の最大定格パワー時の最高水温上昇速さ ($(\Delta T/t)_{full}$) は、

【数 8】

$$(\Delta T/t)_{full} = 60 \times \frac{P_{tank_max}/4.18}{V}$$

P_{tank_max} : タンクヒータ 34 の最大パワー (KW)

である。運転時、タンクヒータ 3 4 のパワーの最適値及び初期値は 5 0 % とする。

【 0 0 5 8 】

タンクヒータコントローラ 6 2 4 は、制御において、二つの水温のタンク安定度閾値 (T_{st1} 、 T_{st2})、及び待ち時間 (W_{time_tank}) を設定する。バッファタンク 3 0 の目標水温を T_{tar_tank} としてタンクヒータ 3 4 のパワーの調整を行うかどうかの判断は、 W_{time_tank} 時間経過後、バッファタンク 3 0 の出口の水温 T_{mon_tank} (T_{102}) に応じて行われる。 $W_{time_tank} = 10$ 秒、 $T_{st1} = 0.04$ 、 $T_{st2} = 0.30$ が望ましい。

【 0 0 5 9 】

(a) バッファタンクの出口水温 T_{mon_tank} が、バッファタンク 3 0 の目標水温 T_{tar_tank} よりもタンク安定度閾値 (T_{st2}) 以上離れている場合、つまり、

10

【 数 9 】

$$|T_{tar_tank} - T_{mon_tank}| > T_{st2}$$

の場合、

タンクヒータ 3 4 のパワー (P_{tank}) の制御は、 $T_{mon_tank} < T_{tar_tank}$ の場合、タンクヒータ 3 4 のパワー (P_{tank}) = P_{tank_max} とし、 $T_{mon_tank} > T_{tar_tank}$ の場合、タンクヒータ 3 4 のパワー (P_{tank}) = 0 とする。

20

【 0 0 6 0 】

この時、 P_{tank_max} を維持する時間 (t_{adj}) は、

【 数 1 0 】

$$t_{adj} = \frac{|T_{tar_tank} - T_{mon_tank}|}{(\Delta T / t)_{full} \times 50\%}$$

として、維持する時間 (t_{adj}) が経過した後は、 P_{tank} は初期値 (5 0 %) に戻す。これにより、タンク出口の水温 T_{mon_tank} は最速でバッファタンク 3 0 の目標水温に近づけることができる。

【 0 0 6 1 】

(b) タンク出口の水温 T_{mon_tank} が安定度閾値 (T_{st1} 、 T_{st2}) の間に納まった場合、つまり、

【 数 1 1 】

$$T_{st1} < |T_{tar_tank} - T_{mon_tank}| \leq T_{st2}$$

のとき、タンクヒータ 3 4 のパワー (P_{tank}) は、次のように制御する。

【数 1 2】

$$P_{tank} = P_{tank0} + \frac{T_{tar_tank} - T_{mon_tank}}{(\Delta T/t)_{full}} \times P_{tank_max} \times G_{tank}$$

Ptank0:調整前のタンクヒータパワー

Gtank:調整のゲイン(0.1が望ましい)

【0062】

10

(c) タンク出口の水溫 T_{mon_tank} がバッファタンクの目標水溫 T_{tar_tank} から水溫のタンク安定度閾値 (T_{st1}) 以下になった場合、つまり、

【数 1 3】

$$|T_{tar_tank} - T_{mon_tank}| \leq T_{st1}$$

の場合、タンクヒータ 3 4 のパワー (P_{tank}) = 調整前のタンクヒータ 3 4 のパワー (P_{tank0}) としてタンクヒータ 3 4 のパワー (P_{tank}) の調整は行わない。

20

【0063】

次に、バルブ開度コントローラ 6 3 2 の詳細を説明する。

R F Q 空洞 1 0、D T L 空洞 2 0 を通った冷却水の一部は、第 1 バルブ 3 1 を通って熱交換器 4 0 に入り、冷却器 5 1 で冷却された冷却水と熱交換されてバッファタンク 3 0 へ流入する。したがって、バッファタンク出口の水溫 T_{mon_tank} は、タンクヒータ 3 4 だけでなく、熱交換器 4 0 からの冷却水にも依存する。

【0064】

第 1 バルブ 3 1 及び第 2 バルブ 3 2 の開度は、タンクヒータ 3 4 のパワーが確実に制御できる範囲内に納まることを目標に制御を行う。このため、冷却開放度 (第 1 バルブ 3 1 の開度) の制御範囲は、タンクヒータパワー閾値 6 3 1 として警戒用閾値セット (P_{HH} 、 P_{LL})、と安全範囲用閾値セット (P_H 、 P_L) の二つを設ける。なお、 P_{HH} は、タンクヒータ 3 4 の最大定格パワー (P_{tank_max}) の 8 5 %、 P_{LL} は、1 5 %、 P_H は 8 0 %、 P_L は、2 0 % が望ましい。

30

【0065】

R F 電源の ON と OFF に対して、冷却開放度 (第 1 バルブ 3 1 の開度) は、R F 電源の ON/OFF の切り替えの際に、第 1 バルブ 3 1 の開度の初期値に予め定めた最適値を与え、それから調整制御を行う。この際、調整制御は、R F 電源の ON と OFF に対して、それぞれのセット時間 ($T_{RF_OFF_set}$ 、 $T_{RF_ON_set}$) を設け、セット時間を掛けて冷却開放度 (第 1 バルブ 3 1 の開度) を初期値まで線形に変化させて行く。望ましい値は、R F 電源の ON でのセット時間 $T_{RF_OFF_set}$ が 2 秒、R F 電源の OFF でのセット時間 $T_{RF_ON_set}$ が 4 5 秒である。

40

【0066】

R F 電源の切り替え時を除く期間は、冷却開放度 (第 1 バルブ 3 1 の開度) の制御には待ち時間 (W_{time_valv}) を設け、 W_{time_valv} 経過後、以下のように調整制御を行う。望ましい値は、待ち時間 (W_{time_valv}) 3 0 秒である。

【0067】

(a) タンクヒータ 3 4 のパワー (P_{tank}) が警戒用閾値セットの上限 P_{HH} を超える場合、冷却開放度 (第 1 バルブ 3 1 の開度) V_{102} は次式で調整する。

【数 1 4】

$$V102 = V102_0 - KV \times Step_{valv}$$

$V102_0$:調整前の冷却開放度(第1バルブ31の開度)
 $Step_{valv}$:調整速さ

であり、 KV は事前に計測したタンクヒータ34のパワー(P_{tank})を1%節約するのに必要な冷却開放度の調整量である。望ましい値は、 KV が0.3、 $Step_{valv}$ が0.5~5である。

10

【0068】

(b)タンクヒータ34のパワー(P_{tank})が警戒用閾値セットの下限 PLL 以下となった場合、冷却開放度(第1バルブ31の開度)は次式で調整する。

【数 1 5】

$$V102 = V102_0 + KV \times Step_{valv}$$

【0069】

(c)タンクヒータ34のパワー(P_{tank})が安全範囲用閾値セット(PH 、 PL)に入った場合、冷却開放度(第1バルブ31の開度) $V102$ は、調整前の冷却開放度 $V102_0$ として、冷却開放度の調整は休止する。なお、第2バルブ32の開度 $V103$ は、常に、 $V103 = 100\% - V102$ とする。

【0070】

RFQ 空洞10の共振周波数の位相変化による目標水温を自動設定する自動共振機能について説明する。加速器の運転は、昼夜や季節などの環境変化により、最適な目標水温が変化する可能性がある。そこで、システムコントローラ61は、 RFQ 空洞10の共振周波数を安定にするため目標水温を共振周波数の位相変化により自動設定する。

30

【0071】

図7は、加速器空洞(RFQ 空洞10)の概略外観図を示す。 RF 電源は、 RF 電源入力ポート10-1から高周波電源として入力され、 RFQ 空洞10を RF 電源の周波数で励振する。 RF センサ10-2は、 RFQ 空洞10の一端に設けられ、実際に励振された信号を検出する。 RFQ 空洞10と RF 電源の周波数との位相ずれ($\Delta\theta_{RFQ}$)は、 RF センサ10-2の信号によってリアルタイムに検出される。

【0072】

図8は、目標水温の自動設定フローチャートを示し、位相閾値(上限: $\Delta\theta_H$ 、下限: $\Delta\theta_L$)、及び待ち時間($Wtime_{tar}$)を設ける。システムコントローラ61は、待ち時間($Wtime_{tar}$)経過後、 RF センサ10-2によって検出された位相ずれ($\Delta\theta_{RFQ}$)と、位相閾値と、を比較して目標水温設定の調整を行うかどうかを判断する。 $\Delta\theta_H = 2$ 、 $\Delta\theta_L = 1$ 、 $Wtime_{tar} = 360$ 秒が望ましい。

40

【0073】

(a)位相ずれが位相閾値の上限より大きい場合: $\Delta\theta_{RFQ} > \Delta\theta_H$

目標水温の調整値($T103_{tar RFQ tank}$ と $T104_{tar RFQ vane}$)は次のようにする。

【数 1 6】

$$T103_{tar_RFQ_tank} = T103_{tar_RFQ_tank0} - 0.5 \times \frac{\Delta\theta_{RFQ}}{k_{tank}}$$

$$T104_{tar_RFQ_vane} = T104_{tar_RFQ_vane0} - 0.5 \times \frac{\Delta\theta_{RFQ}}{k_{vane}}$$

T103tar_RFQ_tank0:調整前のタンク11入口の目標水温の設定値

T104tar_RFQ_vane:調整前のベーン12入口の目標水温の設定値

k tank:タンク11の水温に対しての感度

k vane:ベーン12の水温に対しての感度

k tankは32.2度/、k vaneは-39.5度/ が望ましい。

【0074】

(b) 位相ずれが位相閾値の下限より小さくなった場合: $\Delta\theta_{RFQ} < \Delta\theta_L$

目標水温の調整値は、調整前の目標水温を設定値として調整を終了する。

【0075】

以上によれば、以下の効果がある。

(1) 加速電場立ち上げの時、加速電場立ち上げの所要時間が2倍も短く(同じ条件で、従来の3分から1.5分に短縮)できる。

(2) 水温制御の安定度は、従来技術に比べて、10倍も良く(従来の ± 0.30 から ± 0.03 に改善)、より安定な水温制御が可能となる。

【0076】

(3) RF電源のON/OFFの切り替えによりRFQ空洞10で高熱負荷が急激変化する場合でも、水温は早く目標水温になり、安定運転が可能となる。

(4) 長時間運転する場合でも、RFQ空洞10は共振周波数を維持することが可能となる。したがって、高熱負荷の加速器に対して小容量冷却水による循環システムが可能となる。それによって、費用の削減、敷地もコンパクトになり、加速器施設を小型化できる。

【実施例】

【0077】

以下に、本発明の加速器の冷却システムによる効果を示す実施例について以下説明する。図9は、RF電源をONして加速電場を立ち上げた時のRFQ空洞10の入口水温、出口水温の時間変化を示すグラフである。なお、各記号は以下である。

(1) p f _ k l y : RF電源の出力(左縦軸Power kW)

(2) T RFQ tank in : RFQ空洞10のタンク11の入口水温(図1のT103)

(3) T RFQ vane in : RFQ空洞10のベーン12の入口水温(図1のT104)

(4) T RFQ tank out : RFQ空洞10のタンク11の出口水温(図1のT113)

(5) T RFQ vane out : RFQ空洞10のベーン12の出口水温(図1のT114)

RFQ空洞10のタンク11とベーン12の冷却水流量は80L/minの時、加速電場立ち上げの際に、加速電場立ち上げの所要時間が2倍も短く(同じ条件で、従来の3分から1.5分に短縮)なっていることが確認できる。

【0078】

図10は、水温の安定度を示すグラフであり、横軸の時間に対して水温変化を縦軸に表している。水温の安定度は ± 0.03 であり、従来が ± 0.3 が限界であったのに比べて大幅に改善されている。なお、各記号は以下である。

(2) T RFQ tank in : RFQ空洞10のタンク11の入口水温(図1のT103)

(3) T RFQ vane in : RFQ空洞10のベーン12の入口水温(図1のT104)

20

30

40

50

(4) T RFQ tank out : R F Q 空洞 1 0 のタンク 1 1 の出口水温 (図 1 の T 1 1 3)

(5) T RFQ vane out : R F Q 空洞 1 0 のベーン 1 2 の出口水温 (図 1 の T 1 1 4)

【 0 0 7 9 】

図 1 1 は、R F Q 空洞 1 0 の位相ずれ、共振周波数の安定度を示すグラフであり、横軸の時間に対して位相ずれ (D pha R F Q) を右縦軸に表している。図 1 0 は、始め故意に R F Q 空洞 1 0 の共振周波数をずらして、その後、制御による位相ずれの時間変化を求めたものである。図 1 0 は、共振周波数が何らかの原因でずれたとしても、システムコントローラ 6 1 による自動共振機能が動作して、短時間で共振状態に戻り、維持できることを示している。なお、各記号は以下である。

(2) T RFQ tank in : R F Q 空洞 1 0 のタンク 1 1 の入口水温 (図 1 の T 1 0 3)

10

(3) T RFQ vane in : R F Q 空洞 1 0 のベーン 1 2 の入口水温 (図 1 の T 1 0 4)

(4) T RFQ tank out : R F Q 空洞 1 0 のタンク 1 1 の出口水温 (図 1 の T 1 1 3)

(5) T RFQ vane out : R F Q 空洞 1 0 のベーン 1 2 の出口水温 (図 1 の T 1 1 4)

(6) D pha R F Q : R F Q 空洞の位相ずれ

【 符号の説明 】

【 0 0 8 0 】

1 0 R F Q 空洞

1 1、2 1 タンク

1 2 ベーン

1 3、1 4、2 3、2 4 加速器ヒータ

20

2 0 D T L 空洞

2 2 ドリフトチューブ

3 0 バッファタンク

3 1 第 1 バルブ

3 2 第 2 バルブ

3 3 ポンプ

3 4 タンクヒータ

3 5、5 5、5 6 流路

4 0 熱交換器

5 0 冷却装置

30

5 1 冷却器

5 2、5 3 ポンプ

5 4 チラータンク

6 0 制御部

6 1 システムコントローラ

6 2 加熱コントローラ

6 3 冷却コントローラ

6 4 運転状況データ取得部

6 2 1 加速器入口水温

6 2 2 加速器ヒータコントローラ

40

6 2 3 バッファタンク出口水温

6 2 4 タンクヒータコントローラ

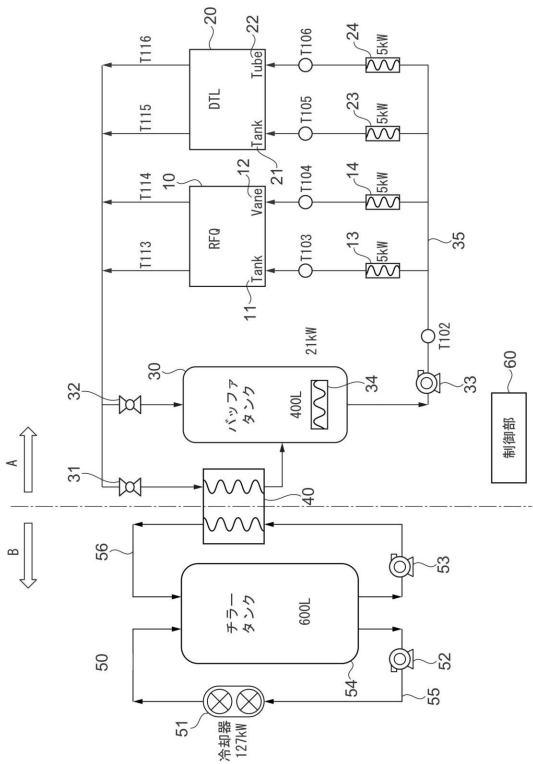
6 3 1 タンクヒータパワー閾値

6 3 2 バルブ開度コントローラ

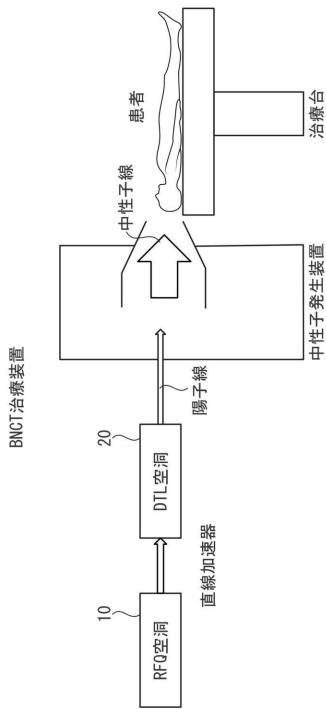
T 1 0 2 タンクセンサ

T 1 0 3、T 1 0 4、T 1 0 5、T 1 0 6 センサ

【図 1】



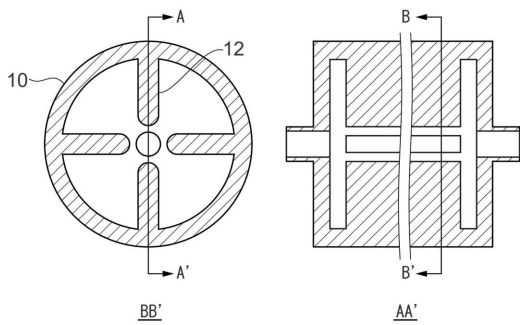
【図 2】



【図 3】

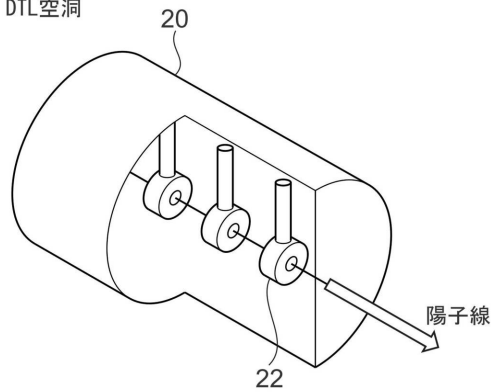
RFQ空洞のベーン構造

円筒から突きでた 4 枚の vane で集束用の 4 極電場をつくる

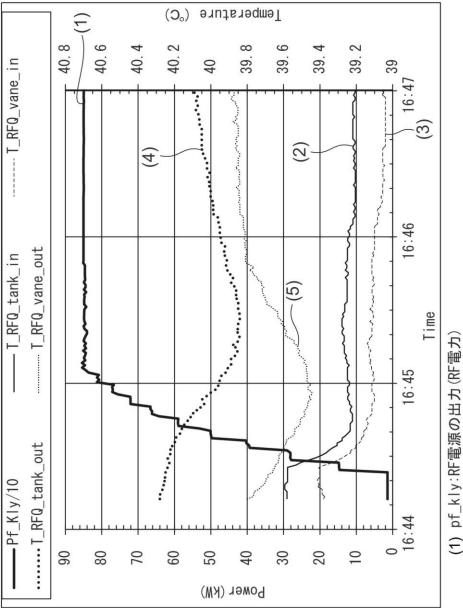


【図 4】

DTL空洞

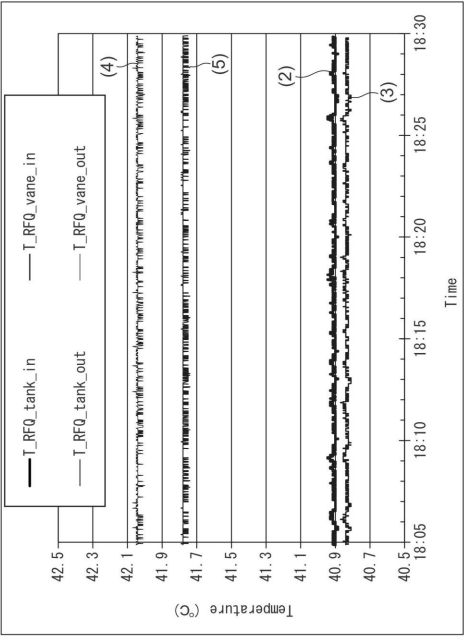


【図 9】



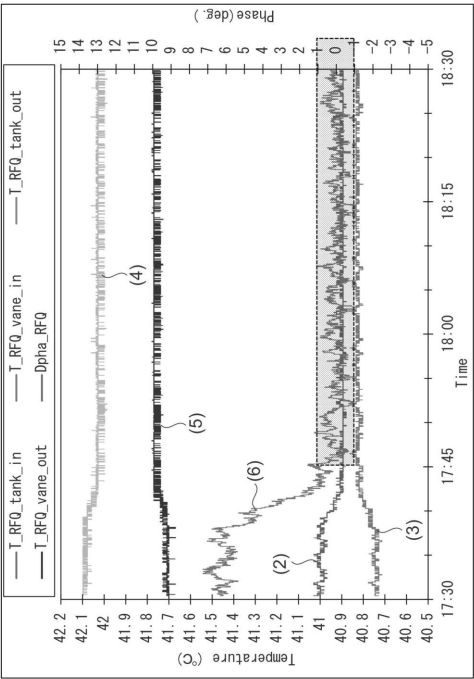
- (1) pf_kly:RF電源の出力 (RF電力)
- (2) _RFQ_tank_in:RFQ空洞のタンク11の入口水温 (T103)
- (3) _RFQ_vane_in:RFQ空洞のベーン12の入口水温 (T104)
- (4) _RFQ_tank_out:RFQ空洞のタンク11の出口水温 (T113)
- (5) _RFQ_vane_out:RFQ空洞のベーン12の出口水温 (T114)

【図 10】



- (2) _RFQ_tank_in:RFQ空洞のタンク11の入口水温 (T103)
- (3) _RFQ_vane_in:RFQ空洞のベーン12の入口水温 (T104)
- (4) _RFQ_tank_out:RFQ空洞のタンク11の出口水温 (T113)
- (5) _RFQ_vane_out:RFQ空洞のベーン12の出口水温 (T114)

【図 11】



- (2) _RFQ_tank_in:RFQ空洞のタンク11の入口水温 (T103)
- (3) _RFQ_vane_in:RFQ空洞のベーン12の入口水温 (T104)
- (4) _RFQ_tank_out:RFQ空洞のタンク11の出口水温 (T113)
- (5) _RFQ_vane_out:RFQ空洞のベーン12の出口水温 (T114)
- (6) Dpha_RFQ:RFQ空洞の位相ずれ
- (7) Dpha_RFQ:RFQ空洞の位相ずれ

フロントページの続き

(72)発明者 杉村 高志

茨城県つくば市大穂 1 番地 1 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構内

(72)発明者 福井 佑治

茨城県つくば市大穂 1 番地 1 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構内

(72)発明者 ニツ川 健太

茨城県つくば市大穂 1 番地 1 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構内

F ターム(参考) 2G085 AA06 BA07 BA08 BE02 CA02 CA13 CA18 CA26 EA07