

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6788580号
(P6788580)

(45) 発行日 令和2年11月25日 (2020. 11. 25)

(24) 登録日 令和2年11月4日 (2020. 11. 4)

(51) Int. Cl. F I
C O 3 B 17/06 (2006. 01) C O 3 B 17/06

請求項の数 10 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2017-515943 (P2017-515943)	(73) 特許権者	397068274
(86) (22) 出願日	平成27年9月18日 (2015. 9. 18)		コーニング インコーポレイテッド
(65) 公表番号	特表2017-534553 (P2017-534553A)		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8
(43) 公表日	平成29年11月24日 (2017. 11. 24)		3 1 コーニング リヴァーフロント プ
(86) 国際出願番号	PCT/US2015/050879		ラザ 1
(87) 国際公開番号	W02016/048817	(74) 代理人	100073184
(87) 国際公開日	平成28年3月31日 (2016. 3. 31)		弁理士 柳田 征史
審査請求日	平成30年9月18日 (2018. 9. 18)	(74) 代理人	100175042
(31) 優先権主張番号	14/492, 580		弁理士 高橋 秀明
(32) 優先日	平成26年9月22日 (2014. 9. 22)	(72) 発明者	アーレンズ, ジェフリー ハワード
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8
			7 1 パイン シティー リヴァーウッド
			ドライヴ 1 5
		審査官	長谷川 真一
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ガラスリボンの厚さウェッジを制御する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガラスリボンにおけるウェッジ変動を制御する方法であって、
 成形容器の収束する側面上に溶融ガラスを流す工程、
 前記成形容器のルートから、ある幅を有するガラスリボンを延伸する工程、
 前記ガラスリボンの前記幅の少なくとも一部にわたって前記ウェッジ変動を測定する工
 程、

前記測定されたウェッジ変動のフーリエ変換でピークを識別することによって、前記ウ
 ェッジ変動の高頻度成分及び前記ウェッジ変動の低頻度成分を決定する工程、

前記ウェッジ変動の高頻度成分に基づいて前記成形容器のチルトの変化を決定する工程

10

、
 前記ウェッジ変動の低頻度成分に基づいて前記成形容器の堰の近くの温度変化を決定す
 る工程、

及び

前記決定された成形容器のチルトの変化に基づいて前記成形容器のチルトを調整し、及
 び前記決定された成形容器の堰の近くの温度変化に基づいて前記成形容器の堰の近くの温
 度を調整し、前記ガラスリボンの前記幅にわたる前記ウェッジ変動を低下させる工程
 を含む、方法。

【請求項 2】

前記成形容器の前記チルトを調整する工程が、前記成形容器の第 2 端部に対する前記成

20

形容器の第 1 端部の位置を調整する工程を含み、前記成形容器の前記第 1 端部及び前記第 2 端部が、前記成形容器の収束する側面に対して垂直であり、かつ、前記成形容器の長さによって分離されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

フュージョンドロー装置であって、

形容器の長さを画定する第 1 端部及び第 2 端部を有する形容器、及び前記形容器の上面に配置されたトラフと、

前記形容器の前記第 2 端部に対する前記形容器の前記第 1 端部の位置を変化させるよう構成されるチルト機構と、

前記形容器の堰の近くの領域を加熱するよう構成される少なくとも 1 つの加熱機構、及び

10

前記フュージョンドロー装置の底部に配置される厚さゲージ、およびプロセッサと、コンピュータ読取及び実行可能命令セットを記憶するメモリとを備えたコントローラを含む自動厚さ制御システムであって、前記コンピュータ読取及び実行可能命令セットが、前記プロセッサによって実行された場合に：

前記厚さゲージからウェッジ変動信号を受け取り、

低頻度とは第 1 の所定の時間よりも長い期間のことを指し、高頻度とは前記第 1 の所定の時間よりも短い第 2 の所定の時間よりも短い期間のことを指し、前記第 1 の所定の時間と前記第 2 の所定の時間との差は 2 時間以上であるとして、前記ウェッジ変動信号のフーリエ変換でピークを識別することにより、受け取った前記ウェッジ変動信号に基づいて、ウェッジ変動の高頻度成分及びウェッジ変動の低頻度成分を特定し、

20

前記ウェッジ変動の前記高頻度成分を低減するために、チルト設定値を計算し、

前記ウェッジ変動の前記低頻度成分を低減するために、温度設定値を計算し、

前記チルト機構に前記チルト設定値を供給し、かつ

前記少なくとも 1 つの加熱機構に前記温度設定値を供給する

自動厚さ制御システムと、

を備えた、フュージョンドロー装置。

【請求項 4】

前記自動厚さ制御システムが、前記チルト設定値に基づいて前記形容器のチルトの度合い、及び、前記温度設定値に基づいた前記堰の近くの前記領域に供給される熱の量のうち少なくとも一方を調整することを特徴とする、請求項 3 に記載のフュージョンドロー装置。

30

【請求項 5】

前記堰の近くに配置された冷却機構をさらに備え、前記自動厚さ制御システムが、前記堰の近くの前記領域を、前記温度設定値に基づいて能動的に冷却させることを特徴とする、請求項 3 又は 4 に記載のフュージョンドロー装置。

【請求項 6】

前記自動厚さ制御システムが、ウェッジ変動の前記低頻度成分とは無関係に前記チルト設定値を計算することを特徴とする、請求項 3 から 5 のいずれか一項に記載のフュージョンドロー装置。

40

【請求項 7】

前記自動厚さ制御システムが、ウェッジ変動の前記高頻度成分とは無関係に前記温度設定値を計算することを特徴とする、請求項 3 から 6 のいずれか一項に記載のフュージョンドロー装置。

【請求項 8】

ガラスリボンの幅にわたってウェッジ変動を制御する方法であって、

形容器の収束する側面上に熔融ガラスを流す工程、

前記形容器のルートから、ある幅を有するガラスリボンを延伸する工程、

前記ガラスリボンの前記幅の一部にわたって前記ウェッジ変動を測定する工程、

前記測定されたウェッジ変動のフーリエ変換でピークを識別することによって、前記ウ

50

エッジ変動の高頻度成分及び前記ウェッジ変動の低頻度成分を決定する工程、

前記ウェッジ変動の高頻度成分に基づいて前記成形容器のチルトを調整し、前記ガラスリボンの前記幅にわたる前記ウェッジ変動を低下させる工程、

前記ウェッジ変動の低頻度成分に基づいて前記成形容器の堰の近くの温度を調整し、前記ガラスリボンの前記幅にわたる前記ウェッジ変動を低下させる工程、及び

前記ガラスリボンの前記幅の前記一部にわたって、調整されたウェッジ変動を測定する工程を含む、方法。

【請求項 9】

前記ウェッジ変動の高頻度成分に基づいて前記成形容器のチルトを調整し、前記ガラスリボンの前記幅にわたる前記ウェッジ変動を低下させる工程は、前記チルトの度合いおよびウェッジ変動の量に基づいてチルト設定値を決定する工程を含むことを特徴とする、請求項 8 に記載の方法。

10

【請求項 10】

前記ウェッジ変動の低頻度成分に基づいて前記成形容器の堰の近くの温度を調整し、前記ガラスリボンの前記幅にわたる前記ウェッジ変動を低下させる工程は、前記温度およびウェッジ変動の量に基づいて温度設定値を決定する工程を含むことを特徴とする、請求項 8 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

20

本出願は、その内容が依拠され、その全体がここに参照することによって本願に援用される、2014年9月22日出願の米国特許出願第14/492580号の米国法典第35編特許法第120条に基づく優先権の利益を主張する。

【技術分野】

【0002】

本明細書は、概略的には、ガラス板の製造に関し、より詳細には、ガラス板生産用のガラスリボンにおける厚さウェッジを制御する方法に関する。

【背景技術】

【0003】

ガラス基板は多くの用途に用いられることから、ガラスのさまざまな特性を制御できることが、ますます重要になってきている。規格外の変動はガラス基板の嵌合及び/又は装置の最終的な全体寸法に影響を与えかねないことから、特に、ガラス板の所定の厚さ特性の維持は、多くの消費者機器用途にとって重要である。

30

【0004】

通常、ダウンドロー法は、個々のガラス板へと個片化可能なガラスリボンの製造に使用される。ガラスリボンを形成する熔融ガラスにおける流量及び温度の変動は、板厚や他の影響の変動などのガラス欠陥を生じうる。このように、ガラスの流量及び温度の制御は、ガラスリボンの厚さの変動を最小限に抑えるために利用することができる。しかしながら、ガラスリボンの厚さの長期的な変動を補償する従来の方法は、ガラスリボンの厚さの短期変動を増幅し、結果的に製造ロス及び生産コストを増大させかねない。

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

したがって、ガラスリボンから形成されるガラス板の厚みの変動を低減するために、厚さの長期変動及び短期変動の両方に対処する、ガラスリボンの厚さを制御する代替的な方法が必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0006】

一実施形態によれば、ガラスリボンにおけるウェッジ変動を制御する方法は、成形容器の収束する側面上に熔融ガラスを流す工程、成形容器のルートからガラスリボンを延伸す

50

る工程、ガラスリボンの幅の少なくとも一部にわたってウェッジ変動を測定する工程、測定されたウェッジ変動に基づいて成形容器のチルト及び成形容器の堰の近くの温度を調整し、ガラスリボンの幅にわたるウェッジ変動を低下させる工程、及び、ガラスリボンの幅の一部にわたってウェッジ変動を再測定する工程を含む。

【0007】

別の実施形態では、フュージョンドロー装置は、成形容器、チルト機構、少なくとも1つの加熱機構、及び自動厚さ制御システムを備えている。成形容器は、第1端部、第2端部、及びその上面に配置されたトラフを有する。チルト機構は、成形容器を傾動させて、成形容器の第2端部に対して成形容器の第1端部の位置を変化させる。加熱機構は、成形容器の堰の近くの領域に熱を供給する。自動厚さ制御システムは、プロセッサと、コンピュータ読取及び実行可能命令セットを記憶するメモリとを備えたコントローラを具備する。プロセッサによって命令セットが実行される場合、多変数制御システムは、延伸の底部において厚さゲージからウェッジ変動計算値を受け取り、受け取ったウェッジ変動計算値に基づいて、ウェッジ変動の高頻度成分及びウェッジ変動の低頻度成分を決定し、チルト設定値を計算してウェッジ変動の高頻度成分を低減し、温度設定値を計算してウェッジ変動の低頻度成分を低減し、チルト機構にチルト設定値を供給し、少なくとも1つの加熱機構に温度設定値を提供する。

【0008】

さらに別の実施形態では、ガラスリボンの幅にわたるウェッジ変動を制御する方法は、成形容器の収束する側面上に熔融ガラスを流す工程、成形容器のルートからガラスリボンを延伸する工程、ガラスリボンの幅の一部にわたってウェッジ変動を測定する工程、ウェッジ変動の高頻度成分に基づいて成形容器のチルトを調整し、ガラスリボンの幅にわたってウェッジ変動を低下させる工程、ウェッジ変動の低頻度成分に基づいて成形容器の堰における温度を調整し、ガラスリボンの幅にわたってウェッジ変動を低下させる工程、及び、ガラスリボンの幅の一部にわたって、調整されたウェッジ変動を測定する工程を含む。

【0009】

さらなる特徴及び利点は、以下の詳細な説明において記載され、一部には、その説明から当業者に容易に明らかになり、又は、以下の詳細な説明、特許請求の範囲、並びに添付の図面を含めた、本明細書に記載される実施形態を実施することによって認識されよう。

【0010】

前述の概要及び以下の詳細な説明はいずれも、さまざまな実施形態について説明しており、特許請求される主題の本質及び特徴を理解するための概観又は構成を提供することが意図されることが理解されよう。添付の図面は、さまざまな実施形態のさらなる理解を提供するために含まれ、本明細書に取り込まれてその一部を構成する。図面は、本明細書に記載されるさまざまな実施形態を示しており、その説明と共に、特許請求される主題の原理及び実施を説明する役割を担う。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1A】本明細書に記載される1つ以上の実施形態に従ったフュージョンドロー法

【図1B】本明細書に記載される1つ以上の実施形態に従ったフュージョンドロー装置の斜視図

【図2】本明細書に記載される1つ以上の実施形態に従ったフュージョンドロー装置の側面図

【図3】本明細書に記載される1つ以上の実施形態に従った多変数制御システムによって実行されるウェッジ厚の制御方法のフロー図

【図4】時間（x軸）の関数としてのウェッジ厚データ（y軸）のプロット

【図5】図4に示されるウェッジ厚データの頻度（x軸）の関数としてのウェッジ厚データ（y軸）のプロット

【図6】時間（x軸）の関数としてのフュージョンドロー装置のチルト角の変化（y軸）のプロット

10

20

30

40

50

【図 7】図 6 に示されるチルト角変化に対応する時間（ x 軸）の関数としてのウェッジ厚の変化（ y 軸）のプロット

【図 8】上部温度における -0.3 の変化に対する応答時間（ x 軸）の関数としてのウェッジ厚の変化（ y 軸）のプロット

【図 9】熱調整及びチルトのための従来の比例積分（ PI ）制御システムを使用する、ウェッジ変動についての頻度（ x 軸）に対する利得応答（ y 軸）のプロット

【図 10】従来の PI 制御システムに従った経時（ x 軸）における結果的に得られた温度移動（ y 軸）のプロット

【図 11】多変数制御アルゴリズムに従った経時（ x 軸）における結果的に得られた温度移動（ y 軸）のプロット

10

【図 12】従来の PI 制御システムに従った経時（ x 軸）における結果的に得られたチルト移動（ y 軸）のプロット

【図 13】多変数制御アルゴリズムに従った経時（ x 軸）における結果的に得られたチルト移動（ y 軸）のプロット

【図 14】従来の PI 温度制御システムを使用する、時間（ x 軸）の関数としての模擬的なウェッジ変動（ y 軸）のプロット

【図 15】従来の PI チルト制御システムを使用する、時間（ x 軸）の関数としての模擬的なウェッジ変動（ y 軸）のプロット

【図 16】多変数制御システムを使用する、時間（ x 軸）の関数としての模擬的なウェッジ変動（ y 軸）を示すプロット

20

【図 17】チルト制御下での時間（ x 軸）の関数としてのウェッジの量（ y 軸）を示すプロット

【図 18】従来の自動厚さ制御システム（ $ATCS$ ）を使用する、熱制御下での時間（ x 軸）の関数としてのウェッジの量（ y 軸）を示すプロット

【図 19】従来の $ATCS$ を使用してウェッジを制御する熱制御の結果と比較した、チルト制御結果のウェッジの量（ y 軸）のボックスプロット

【図 20】時間（ x 軸）の関数としてのウェッジについてのローリング標準偏差（ y 軸）のプロット

【図 21】 y 軸に沿ってウェッジの量を測定する、多変数ウェッジ制御（ MWC ）、従来の $ATCS$ 、及び PI 制御システムを使用する、総合的なウェッジ制御、長期ウェッジ制御、及び短期ウェッジ制御の結果

30

【発明を実施するための形態】

【0012】

次に、添付の図面に示されている、ガラスリボンにおけるウェッジ変動を制御するための方法及び装置のさまざまな実施形態が詳細に参照される。図面全体を通して、同一又は同様の部分についての言及には、可能な限り、同一の参照番号が用いられる。フュージョンドロー装置の一実施形態は、図 1 B に示されており、概略的に全体を通して参照番号 100 で表される。概して、フュージョンドロー装置は、成形容器、成形容器を傾動して成形容器の第 2 端部に対して成形容器の第 1 端部の位置を変化させるチルト機構、成形容器の堰又はその近くの領域に熱を供給する、フュージョンドロー装置の上部に配置された少なくとも 1 つの加熱機構、及び、自動厚さ制御システムを備えている。自動厚さ制御システムは、ウェッジ変動に基づいてチルト設定値及び温度設定値を決定し、ガラスリボンのウェッジ変動を低減する。特に、自動厚さ制御システムは、チルト機構にチルト設定値を供給してウェッジ変動の高頻度成分を低減し、かつ、加熱機構に温度設定値を提供してウェッジ変動の低頻度成分を低減する。ガラスリボンのウェッジ変動を制御するための方法及び装置のさまざまな実施形態が、特に添付の図面を参照して本明細書に説明される。

40

【0013】

図 1 A を参照すると、熔融ガラスからガラス基板を形成するための例となるガラス製造装置 100 A が概略的に示され、フュージョンドロー装置は、熔融ガラスをガラス基板へと成形するのに用いられる。ガラス製造装置 100 A は、熔融容器 1、清澄容器 3、混合

50

容器 4、供給容器 8、及びフュージョンドロー装置 100 を備えている。ガラスバッチ材料は、矢印 2 で示されるように、熔融容器 1 内に導入される。バッチ材料は熔融されて熔融ガラス 6 を形成する。清澄容器 3 は、熔融容器 1 から熔融ガラス 6 を受け取る高温処理領域を有し、ここで熔融ガラス 6 から泡が除去される。清澄容器 3 は、連結管 5 によって混合容器 4 と流体連絡されている。すなわち、清澄容器 3 から混合容器 4 へと流れる熔融ガラスは、連結管 5 を通って流れる。混合容器 4 は、次に、混合容器 4 から供給容器 8 へと流れる熔融ガラスが連結管 7 を通って流れるように、連結管 7 によって供給容器 8 と流体連絡されている。

【0014】

供給容器 8 は、下降管 9 を通じてフュージョンドロー装置 100 内へと熔融ガラス 6 を供給する。フュージョンドロー装置 100 は、入口 10、成形容器 11 及び少なくとも 1 つの延伸アセンブリ 50 が内部に配置された筐体 22 を備える。図 1A に示されるように、下降管 9 から来る熔融ガラス 6 は入口 10 内へと流れ、成形容器 11 に至る。成形容器 11 には、熔融ガラス 6 を受け入れる開口 12 が備わっており、この熔融ガラス 6 は、トラフ 13 内へと流れ、次に溢れ出て、成形容器 11 の 2 つの収束する側面 14a 及び 14b を流れ落ちた後、以下ルート 112 と呼ばれる 2 つの側面が接合する成形容器 11 の下縁部 112 で融着する。結果として生じるガラス基板は、次に、延伸アセンブリ 50 によって、本明細書ではガラスリボンとも称される連続したガラス基板 52 として、下向きの方向 51 に延伸される。

【0015】

さらに具体的には、図 1B に示されるように、フュージョンドロー装置 100 は、第 1 端部 104、第 2 端部 106、及び上面に配されたトラフ 108 を有する成形容器 102 を備えている。第 1 端部 104 及び第 2 端部 106 は、成形容器 102 の収束する側面 14a 及び 14b に対して垂直であり、成形容器 102 の長さ L によって分離されている。熔融ガラスは、成形容器 102 の第 1 端部 104 からトラフ 108 へと供給され、堰 110 を越えて成形容器 102 の外表面に沿ってルート 112 に到達するまで流れる。ルート 112 は、成形容器 102 の側面 14a 及び 14b の収束によって形成される。ルート 112 において、成形容器 102 の両側を流れ落ちる熔融ガラスの 2 枚のシートは融着してガラスリボン 114 を形成する。ガラスリボン 114 は、複数のエッジローラ及びブルロールによって成形容器 102 のルート 112 から延伸される（図 1A）。ガラスリボン 114 は、トラフ 108 に対して平行に走る幅 116、及び、ガラスリボン 114 の幅 116 に垂直な厚さ 118 を有する。厚さ 118 は、ガラスリボン 114 の幅 116 に沿って変動しうる。例えば、成形容器 102 の第 1 端部 104 の近くのガラスリボン 114 の厚さ 118 は、第 2 端部 106 の近くのガラスリボン 114 の厚さより大きくてもよく、ガラスリボン 114 の厚さ 118 は、ガラスリボン 114 がガラスリボン 114 の幅 116 に沿って「ウェッジ」形状を有するように、第 2 端部 106 から第 1 端部 104 へと直線的に増加しうる。したがって、本明細書で用いる場合、ガラスリボン 114 の幅 116 に沿った厚さ 118 の傾斜は「ウェッジ」と呼ばれる。さまざまな実施形態において、ウェッジは、以下に論じられるように、末端効果に供されないガラスリボン 114 の幅 116 の一部など、ガラスリボン 114 の幅 116 の一部に沿った厚さ 118 の傾斜を表しうる。

【0016】

幾つかの変数はウェッジに影響を及ぼしうる。具体的には、堰 110 の温度は、ガラスが成形容器を越えて流れるときにガラスの粘度に影響を与えることによって、ウェッジに影響を及ぼしうる。例えば、堰 110 の近くの温度の上昇は、ガラスが入口端部（すなわち、入口 10 の近くの成形容器 102 の端部）から圧縮端部（すなわち、成形容器 102 の長さ L によって入口 10 と分離されている成形容器 102 の端部）まで流れるように促すのに対し、温度の低下は、成形容器 102 にわたる熔融ガラスの流れを抑制する。熔融ガラスの温度に影響を与えるため、フュージョンドロー装置 100 はまた、堰 110 に隣接して配置された少なくとも 1 つの加熱機構 120 も備える。実施形態において、加熱機

10

20

30

40

50

構 1 2 0 は、抵抗加熱器、ガス燃焼ヒータ等でありうる。図 1 は、2 つの加熱機構 1 2 0 を有するフュージョンドロー装置 1 0 0 を示しているが、特定の実施形態に応じて、より多数又はより少数の加熱機構を使用して差し支えない。例えば、1 つ以上の加熱機構 1 2 0 は、各堰 1 1 0 に隣接して配置されうる。加熱機構 1 2 0 は、成形容器 1 0 2 の堰 1 1 0 の領域に熱を供給する。加熱機構 1 2 0 は、成形容器 1 0 2 の堰 1 1 0 の領域を能動的に加熱するために、作動又は出力アップ（例えば、加熱機構の熱出力が増加）されうる。反対に、加熱機構 1 2 0 を、停止又は出力ダウン（例えば、加熱機構の熱出力が低下）させて、成形容器 1 0 2 の堰 1 1 0 の領域を受動的に冷却してもよい。

【0017】

一部の実施形態では、フュージョンドロー装置 1 0 0 は、能動冷却機構を備えうる（図示せず）。能動冷却機構は、強制空気、水、又は別の冷却剤を使用して、成形容器 1 0 2 の堰 1 1 0 の近くの領域の温度を低下させることができる。したがって、成形容器 1 0 2 の堰 1 1 0 の近くの領域の温度は、成形容器 1 0 2 の堰 1 1 0 の近くの領域を、能動的に加熱すること、受動的に冷却すること、能動的に冷却すること、及び/又は、能動的加熱と能動的冷却の組合せによって制御することができる。

【0018】

成形容器 1 0 2 の堰 1 1 0 における溶融ガラスの温度に加えて、成形容器 1 0 2 のチルトの量もまた、成形容器 1 0 2 を用いて形成されたガラスリボンのウェッジに影響を及ぼす。例えば、チルト機構 1 2 2（図 1 A に示される）を用いた成形容器 1 0 2 の下方への傾動（すなわち、成形容器 1 0 2 の第 2 端部 1 0 6 に対して成形容器 1 0 2 の第 1 端部 1 0 4 を高くする）は、溶融ガラスを第 1 端部 1 0 4 から第 2 端部 1 0 6 へと流れるように促す。反対に、チルト機構 1 2 2 を用いた成形容器 1 0 2 の上方傾動（すなわち、第 2 端部 1 0 6 に対して第 1 端部 1 0 4 を低くする）は、成形容器 1 0 2 にわたる溶融ガラスの流れを抑制する。したがって、さまざまな実施形態において、フュージョンドロー装置 1 0 0 は、チルト機構 1 2 2 を利用して成形容器 1 0 2 を傾動し、成形容器 1 0 2 の第 2 端部 1 0 6 に対して成形容器 1 0 2 の第 1 端部 1 0 4 の位置を変化させ、それによって成形容器の堰 1 1 0 にわたる溶融ガラスの流れを増加又は低下させ、ひいては、成形容器 1 0 2 を用いて形成されたガラスリボンのウェッジに影響を及ぼす。

【0019】

さまざまな実施形態において、ウェッジ変動は、成形容器 1 0 2 の傾動、及び堰 1 1 0 の近くの温度の調整の組合せを通じて制御される。より具体的には、成形容器 1 0 2 は、ウェッジ変動の高頻度（例えば短期）成分を低下させるように傾動させることができると同時に、温度を、ウェッジ変動の低頻度（例えば長期）成分を低下させるように加熱機構 1 2 0 を介して調整することができる。本明細書で用いる場合、用語「高頻度」とは約 3 時間以下の期間のことを指し、用語「低頻度」とは約 10 時間以上の期間のことを指す。しかしながら、ウェッジ変動の高頻度成分及び低頻度成分は、高頻度と低頻度との間にある程度の帯域分離が存在することを条件に、特定の実施形態に応じて変動しうる。高頻度成分と低頻度成分との間の帯域分離の所望のレベルは、変数の制御レベルに依存しうる。定められた高頻度範囲と低頻度範囲との間の頻度は、ウェッジの制御の目的では、計算において無視することができ、高頻度成分及び低頻度成分の制御に基づいて自然に調整される。例えば、熱調整はガラスの反応（すなわち、加熱又は冷却）に時間を要し、したがって、ガラスリボン 1 1 4 の幅 1 1 6 にわたる厚さ分布にさらにゆっくりと影響を及ぼすことから、堰 1 1 0 の温度調整は、数十時間又は数十日間などの長期間にわたってウェッジ変動を低下させるために使用されうる。しかしながら、温度調整は、短期におけるウェッジ変動の制御には効果がない。したがって、ウェッジ変動に迅速に対処し、かつ、ウェッジ変動の所定の範囲を超えるガラスリボン 1 1 4 の全体量を低減するため、成形容器 1 0 2 を傾動させてよく、この傾動は、ガラスリボンにわたる厚さ分布に対して、温度調整よりもはるかに迅速に影響を及ぼす。

【0020】

チルトのみの調整を利用して、低頻度変動及び高頻度変動の両方を補償しうる。しかし

10

20

30

40

50

ながら、低頻度変動に対処するために必要とされるチルト角の変化は比較的大きく、フュージョンドロー装置についてマイナスの結果を有しうる。例えば、チルト角の大きい変化は、顕著なりボン位置の変化を生じうるが、これは、ガラスリボンと、延伸においてより低くなるブルロールとの間の相互作用に起因して、リボンの形状に負の影響を与えかねず、最終的には、リボンから切り出された最終的なガラス板の形状に影響を与えうる。したがって、さまざまな実施形態において、チルトは、ウェッジの高頻度変動に対処するために用いられ、一方、堰の近くの温度はウェッジの低頻度変動を補償するために調整される。このことにより、より小さいチルト移動が使用可能となり、ウェッジ変動の比較的迅速な制御及び修正が可能となる。

【0021】

次に図2を参照すると、1つ以上の実施形態に従った、傾動させた成形容器102の側面図が示されている。例として、ガラスリボン114の幅にわたるウェッジ変動は、厚さゲージ200を使用して決定されうる。厚さゲージは、フュージョンドロー装置の延伸の底部に配置されてもよい。厚さゲージ200は、例えば、レーザ系厚さゲージでありうる。厚さゲージ200は、ガラスリボン114の幅の少なくとも一部にわたってガラスリボン114の厚さを測定する。成形容器102のいずれかの端部において、いわゆる「末端効果」は流量密度を増加させ、結果的に、2つの鉛直境界においてガラスリボン114の厚さの増大を生じうる。増大した厚さは、各々が「ビード領域」と呼ばれる鉛直境界からガラスリボン114の中心の方向に延びる有限幅にわたって生じる。さまざまな実施形態において、ガラスリボン114の厚さは、例えばガラスリボンの中心線など、ガラスリボン114のビード領域を含まない、ガラスリボン114の幅の一部において測定される。さまざまな実施形態において、ウェッジは、ビード領域を含まないガラスリボン114の幅にわたって測定される。

【0022】

厚さゲージ200によって計算されたウェッジ変動に基づいて、チルト機構122を使用して、成形容器102の第2端部106に対する成形容器102の第1端部104の位置を変化させうる。第1端部104が第2端部106より高い場合、より多くの溶融ガラスが第2端部106へと流れ、第2端部106の近くのガラスリボン114の厚みが増す。第1端部104と第2端部106との高低差を低減するのに有効な量だけ成形容器102の第1端部104を低くすることによって、第2端部106の近くに、より薄いガラスリボン114を生じうる。よって、成形容器102のチルトの変化は、ガラスリボン114の幅116にわたってウェッジ変動を調整する。

【0023】

次に図1A～2を参照すると、ガラスリボン114のウェッジ変動を制御するため、成形容器102の温度及びチルトは、フュージョンドロー装置100の多変数制御システム202によって制御され(図1Aに示される)、このシステムは、受け取った厚さ測定値に基づいて計算されたウェッジ変動に基づき、成形容器102の温度及びチルトを調整するように動作する。多変数制御システム202は、厚さゲージ200及び加熱機構120に通信可能に連結され、概して、プロセッサと、コンピュータ読取及び実行可能命令セットを記憶するメモリとを有するコントローラを備えている。さまざまな実施形態において、温度及びチルトの調整は、経時におけるウェッジ変動の測定及び再測定に基づいた反復プロセスである。多変数制御システム202のプロセッサがコンピュータ読取及び実行可能命令セットを実行する場合、命令セットは、コントローラに、厚さゲージからウェッジ変動信号を受信させ、かつ、受信したウェッジ変動信号に基づいて、ウェッジ変動の高頻度成分及びウェッジ変動の低頻度成分を決定させる。ウェッジ変動の高頻度成分及び低頻度成分は、例えば、ウェッジ変動信号のフーリエ変換でピークを自動的に識別することによって、又は、「高頻度」及び「低頻度」に対応するユーザー定義ウィンドウ内で変動を決定することによって、決定されうる。命令セットはまた、コントローラに対し、チルト設定値を計算させてウェッジ変動の高頻度成分を低減し、かつ、温度設定値を計算させてウェッジ変動の高頻度成分を低減する。命令セットはまた、コントローラに対し、チルト

10

20

30

40

50

設定値をチルト機構に供給させ、かつ、温度設定値を加熱機構に供給させる。多変数制御システムのプロセッサは、特定の実施形態に応じて、さまざまな方法でこれらの命令を実行することができる。例えば、一実施形態に従ったガラスリボンにおけるウェッジ変動を制御する方法 300 のブロック図が、図 3 に示されている。

【0024】

図 3 に示されるように、電流ウェッジ設定値 302 及びウェッジ 304 の測定量は、ウェッジ変動を決定するために、多変数コントローラのコンパレータ 306 において比較される。コンパレータ 306 は、決定されたウェッジ変動を示すウェッジ変動信号を出力し、このウェッジ変動信号を多変数コントローラのウェッジコントローラに入力し、受信したウェッジ変動信号に基づいてウェッジ変動の高頻度成分及びウェッジ変動の低頻度成分を特定する。ウェッジ変動の高頻度成分及び低頻度成分は、例えば、経時におけるウェッジデータの大きさ及び頻度を定量化することによって特定することができる。例えば、高頻度成分は、1～3 時間など、ユーザー定義の頻度の範囲内の最大の大きさとして識別することができ、低頻度成分は、10 時間超などの異なるユーザー定義の頻度範囲内の最大の大きさとして識別することができる。一部の実施形態では、ウェッジ変動の高頻度成分及び低頻度成分は、時間の関数としての、ウェッジ厚のプロットの頻度のフーリエ変換における最大ピークを識別することによって決定することができる。実施形態において、高頻度成分及び低頻度成分は、頻度成分間に明確に識別された帯域分離が存在することを条件に、それぞれ、1～3 時間又は 10 時間超以外の期間に対応しうる。さまざまな実施形態において、頻度成分の期間の間には、少なくとも 2 時間の帯域分離が存在する。

【0025】

ステップ 308 において、多変数制御システムのコントローラは、温度設定値 310 を計算してウェッジ変動の低頻度成分を低下又は最小化し、かつ、チルト設定値 312 を計算してウェッジ変動の高頻度成分を低下又は最小化する。温度設定値 310 及びチルト設定値 312 は、特定の実施形態に応じて、さまざまな方法で計算することができる。例えば、チルト応答（すなわち、チルトの変化に起因したガラスリボンの厚みの変動）は、近似的なチルト設定値 312 を生成するために、成形容器の幾何学形状及び流体流の物理学に基づいてモデル化することができる。同様に、温度応答は、近似的な温度設定値 310 を生成するために、伝熱及び流体流の原理に基づいてモデル化することができる。チルト設定値 312 及び温度設定値 310 は、システムに対し、現在のチルト設定値及び温度設定値に置換又は更新するために用いられる。あるいは、チルト応答及び温度応答は、チルト又は温度のいずれかを段階的に変化させ、ウェッジの影響を測定する、プロセス実験を使用してモデル化することができる。チルト設定値及び温度設定値のさまざまな組合せについての測定されたウェッジ変化は、自動厚さ制御システムのメモリ内のルックアップテーブル（LUT）に格納することができ、コントローラによって、ガラスリボンのウェッジの所望の変化を達成するために今後のチルト設定値及び温度設定値を決定するために利用されうる。

【0026】

さまざまな実施形態において、チルト応答及び温度応答のモデルを結合かつ調整して、多変数コントローラによる使用のための多変数制御アルゴリズムを生成することができる。多変数制御アルゴリズムによって、熱及びチルト処理の処理効果を、ウェッジに及ぼすそれらの影響に従って特徴付けできる。これらの処理効果は、ある特定の頻度で観察されるウェッジ変動に対処するためだけに重み付けされうる。例えば、さまざまな実施形態において、H 無限大制御の取り組みが用いられうる。さまざまな実施形態において、H 無限大制御の取り組みの使用には、ウェッジ変動の低頻度成分とは無関係にチルト設定値を計算し、かつ、ウェッジ変動の高頻度成分とは無関係に、温度設定値を計算することが含まれる。H 無限大制御の取り組みは、参照することによって本明細書に援用される、Kemin Zhou の Essentials of Robust control (Prentice Hall, 1998) においてさらに十分に説明される。例えば、H 無限大制御の取り組みの最適化目的関数における高頻度レギュームは、結果として生じる制御アルゴリズムが、温度のための低頻度調整のみを選択するよう

に、温度調整についてペナルティを与え、H無限大制御の取り組みの最適化目的関数における低頻度レジュームは、結果として生じる制御アルゴリズムがチルトの高頻度調整のみを選択するように、チルト調整についてペナルティを与える。その結果、温度設定値及びチルト設定値を出力する制御アルゴリズムが得られる。

【0027】

さらに図3を参照すると、温度設定値310を示す温度設定値信号及び電流温度信号は、コンパレータ316に入力され、温度設定値信号を電流温度信号と比較されて、所望の効果を達成するために温度の変化が計算される。温度の変化は、温度コントローラ318に入力され、温度の変化を達成するために、温度の変化がヒータのための所望の電力レベルへと変換される。ヒータの電力が増加又は低下するにつれて、熱プロセス320は、成形容器の堰の近くの温度を調整された温度（新しい電流温度314）へと上昇又は低下させ、コンパレータ316へと送り戻される。温度の変化は、温度ウェッジプロセス322を通じてウェッジを変化させるのに役立つ。

【0028】

ウェッジコントローラによって計算されるチルト設定値312を示すチルト設定値信号は、電流チルト角326を示す電流チルト角信号と共にコンパレータ324内に入力される。コンパレータ324において、所望の効果を達成するように、チルトの変化量が計算される。チルトの変化量を示す信号は、ガラスリボンのウェッジの所望の低下を達成するために、ステップ328においてチルト機構によって出力されるトルク量へと変換される。ステップ330において、トルクの計算量をチルト機構に適用する際に、成形容器のチルト角は、調整されたチルト角へと増大又は低下する。新しいチルト角326であり、かつチルト設定値信号で表されるチルト設定値312と等価である、調整されたチルト角は、コンパレータ324に送り戻される。調整されたチルト角は、チルトウェッジプロセス332を通じてウェッジを調整する。

【0029】

温度ウェッジプロセス322の効果とチルトウェッジプロセス332の効果は、加算点334において結合されて、ウェッジにおける制御された効果量を決定する。ウェッジにおける制御された効果量は、ウェッジの乱れ336の量と共に、結果として、ウェッジ340の全体的な測定量を与える。ウェッジの乱れ336は、成形容器上の不均一なガラスの流れ又は成形容器にわたる不均一な熱分布などのさまざまな因子によって生じうる。ウェッジ340の測定量は、ウェッジ304の測定量としてコンパレータ306に送り戻される。

【0030】

この測定、調整、及び再測定のプロセスは、システムが、短期変動を制御することによって生成した長期変動を連続的に補償することを可能にし、逆もまた同様であり、ウェッジ変動のより大きい全体的制御を結果的にもたらす。

【実施例】

【0031】

ガラスリボンのウェッジを制御する方法のさまざまな実施形態は、以下の実施例によってさらに明らかになるであろう。

【0032】

実施例1

2週間の期間、厚さゲージを使用して、ガラスリボンにおけるウェッジ変動を測定した。図4は、時間（x軸）の関数としてのウェッジ厚データ（y軸）のプロットを示している。図4から得られたデータを、フーリエ変換を使用して変換し、図5を生成した。さらに具体的には、図5は、図4に示される信号の頻度成分のプロットである。図5のプロットは、ウェッジ変動の大きさ（y軸）及び頻度（x軸）を定量化している。高頻度及び低頻度変動は図5に見ることができる。図5に示されるように、ウェッジの乱れは、比較的低頻度（10時間以上の周期）及び比較的高い頻度（例えば3時間以下の周期）の変動を有していた。特に、突出した周期（prominent cycle）は約2時間の周期で生じた。図5

10

20

30

40

50

に示されるデータは、ウェッジ変動の高頻度成分及び低頻度成分の決定に使用されうる。

【 0 0 3 3 】

例えば、図 5 に示されるように、大きいピークは、2 時間周期、3 ~ 1 0 時間周期、及び 3 0 時間周期に対応する時点で現れる。これらのピーク及び帯域分離に基づいて、2 時間周期に対応するピークを高頻度成分として識別するとともに、3 0 時間周期に対応するピークを低頻度成分として識別した。2 時間周期に対応するピークと 3 ~ 1 0 時間周期に対応するピークとの間には明確に定められた帯域分離が存在しないことから、より高い頻度成分及びより低い頻度成分の制御の関数として制御する場合、頻度成分の識別の目的では、3 ~ 1 0 時間周期は無視される。

【 0 0 3 4 】

実施例 2

ウェッジ変動におけるチルトの影響を決定するため、チルトの度合いを段階的に変化させ、ウェッジの影響（すなわち、ウェッジの変化）を観察した。これにより、チルト変動に対するシステムの応答を特徴化可能にした。さらに具体的には、チルト角を、0 度の開始角度から 0 . 3 度だけ（0 . 3 度の最終角度へと）上方に傾動させ（すなわち、第 1 端部 1 0 4 を第 2 端部 1 0 6 に対して下降させた）、ウェッジ応答をおよそ 4 0 分間、監視した。図 6 及び 7 は、チルト角の 0 . 3 度の変化に対する観察されたウェッジ応答を示している。図 6 に示されるように、成形容器を上方に 0 . 3 度だけ傾動させた。結果として得られたウェッジ応答は、図 7 にグラフで示されている。図 7 において、増大（又はウェッジの変化）は y 軸で表されており、時間（秒）は x 軸で表されている。無駄時間を含む一次遅れ（First Order plus Dead Time）モデルを応答に当てはめ、図 7 に示されるように、モデルを処理データと相関させた（ $R^2 = 0 . 9 8$ ）。 R^2 値は、チルトの段階的変化の結果として、一次遅れモデルが、観察された増大と非常に密接に相関していることを示唆している。応答に当てはめた無駄時間を含む一次遅れモデルは、多変数制御アルゴリズムを生成するために、以下の実施例 3 から得られるモデルと共に用いられる。

【 0 0 3 5 】

図 7 はさらに、ウェッジ変動におけるチルトの影響が、ウェッジ変動の高頻度成分への対処に有効でありうることを示している。特に、5 1 8 秒の時間の遅れは、チルト角が変化した時間とウェッジが応答を開始した時間との間の経過時間を表しており、影響が成形容器のチルト調整のおよそ 1 0 分以内に観測可能であることを確認するものである。加えて、モデルは、9 1 秒の時定数を生じ、これは、9 1 秒以内に、チルト角の影響がその最終的な値の約 6 3 % に達したことを示唆している。

【 0 0 3 6 】

実施例 3

ウェッジ変動における温度の影響を決定するため、温度を 0 . 3 ごとに段階的に変化させ、ウェッジの影響（すなわち、ウェッジの変化）をおよそ 9 0 分間、観察した。これにより、熱的変動に対するシステムの応答を特徴化可能にした。図 8 は、上部温度における - 0 . 3 の変化に対する観察されたウェッジ応答を示している。図 8 において、y 軸は増大（又はウェッジの変化）を表し、x 軸はサンプリング時間を表し、各サンプル 1 5 秒である。無駄時間を含む一次（すなわち、線形）遅れモデルを応答に当てはめた。無駄時間を含む一次遅れモデルは処理データによく相関し（ $R^2 = 0 . 9 4$ ）、モデルが良好に当てはまり、熱的变化に基づくウェッジ応答の推定に利用可能であることを示唆している。したがって、ひとたびウェッジが熱的变化に応答を開始すると、熱的变化は、観察されたウェッジ応答に対して直接的かつ直線的に関係する。温度の 0 . 3 ごとの低下は、結果的に、サンプルに 1 . 1 8（ウェッジ / ）のウェッジの増大を生じたことが決定された。およそ 1 9 2 6 秒の時定数及びおよそ 7 1 4 秒の時間の遅れが見られた。時定数は、その最終的な値のおよそ 6 3 % に達する、熱的变化に要する時間を表している。時間の遅れは、上部温度設定値が変化する時間とウェッジが応答を開始する時間との間の経過時間を表している。図 8 のデータと図 7 のデータとの比較は、熱調整が、チルト調整と比較してウェッジに対する変化に遅延を生じさせることを実証している。応答に当てはめた無

10

20

30

40

50

駄時間を含む一次遅れモデルは、上記実施例 2 から得られたモデルとともに、多変数制御アルゴリズムの生成に用いられる。

【0037】

実施例 4

実施例 1 から得た観察されたウェッジ応答頻度情報、実施例 2 から得たチルトステップ応答、及び実施例 3 から得た温度ステップ応答の知見とともに、チルト及び温度の各々を使用する制御の推定限界を、コンピュータ模擬実験及び解析計算を使用して確認した。言い換えれば、図 5 に由来する推定された「高頻度」及び「低頻度」の範囲を、それらの頻度にわたる各制御に対するウェッジ衝撃応答を検査することによって確認した。

【0038】

図 9 は、熱調整及びチルトについての比例積分 (PI) 制御システムを使用するウェッジ変動の頻度 (x 軸) に対する利得応答 (y 軸) のプロットである。PI 制御システムは、熱変数及びチルト変数の各々を制御することができ、各変数を互いに独立して制御することができる。加えて、PI 制御システムは、多変数ウェッジコントローラに関して説明したように、高頻度ウェッジ成分を無視するとともに、低頻度ウェッジ成分の制御のために熱変数を特に使用しなくてもよく、低頻度ウェッジ成分を無視するとともに、高頻度ウェッジ成分の制御のためにチルト変数を使用しなくてもよい場合がある。図 9 において、高頻度成分とは、概して、グラフの右側のことを指し、一方、低頻度成分とは、概して、グラフの左側のことを指す。より具体的には、低頻度成分は、10 時間以上の周期を表す、 10^{-1} の頻度マークの左側に表されている。高頻度成分は、x 軸上の 10^{-1} の頻度マーキングと 10^0 の頻度マークとの間に破線で表されている。上述のように、「高頻度」及び「低頻度」に対応する特定の時間周期は、特定の実施形態によって変化しうる。図 9 によって、実施例 1 における図 5 の検査によって決定された、高頻度成分及び低頻度成分に対応する周期の推定が、所望のレベルの制御の達成に許容可能であることが確認された。具体的には、図 9 によって、「高頻度」及び「低頻度」に応じて選択された時間周期が、対応する変数 (例えば、それぞれ、チルト及び温度) によって制御可能な範囲内にあることが確認された。

【0039】

線 900 は、温度の従来の PI 制御を使用する場合に期待されるウェッジの乱れの減衰を示している。線 900 は、低頻度変動の期待される減衰 (0.083 時間^{-1}) が 0.2 倍 (すなわち、80% の低下) であることを示している。しかしながら、高頻度変動 (0.5 時間^{-1}) は、2.4 倍増幅され、これは許容されないと見なされる。したがって、これは、温度制御は低頻度 (周期は約 10 時間以上である) におけるウェッジの乱れの修正に使用することができるが、高頻度におけるウェッジの乱れの修正には有効ではなく、ウェッジの乱れの影響の大きさは 1 より大きいことを示唆している。

【0040】

図 9 の線 902 は、チルト機構の従来の PI 制御が用いられる場合に期待されるウェッジの乱れの減衰を示している。線 902 は、低頻度変動 (0.083 時間^{-1}) が、90% を超えて補償されうることを示している。高頻度変動 (0.5 時間^{-1}) の期待されるウェッジの乱れの減衰の増大は、温度の従来の PI 制御の使用における増大と比較して、およそ 50% の低下である、0.56 である。線 902 の大きさは、より高い頻度において 1 未満の値を維持し、これは、チルト制御が、より高い頻度におけるウェッジの乱れの制御に有効でありうることを示唆している。加えて、線 902 は、チルト制御が、高頻度及び低頻度におけるウェッジの乱れの制御に有効でありうることを示唆している。

【0041】

実施例 5

10 時間以上の周期についてのウェッジ影響の制御に熱制御が用いられ、かつ、実施例 4 より短い周期についてのウェッジ影響の制御にチルト制御が用いられうるという理論の確認の後、多変数制御アルゴリズムを展開した。図 10 ~ 16 は、ウェッジ変動の制御に使用するための実施例 2 及び 3 から得られたモデルを組み合わせた模擬的な結果を例証し

ている。特に、実施例 2 及び 3 から結果的に得られたモデルを組み合わせ、H 無限大制御の取り組みを使用して、温度調整を選択して低頻度変動に対処し、かつ、チルト調整を選択して高頻度変動に対処するアルゴリズムを生成した。さらに具体的には、実施例 2 及び 3 のデータに当てはめたモデルを組み合わせ、H 無限大制御方法を使用して加工したアルゴリズムを形成した。

【 0 0 4 2 】

H 無限大制御方法では、温度変数を、高頻度変動を考慮せずに、低頻度変動を最小化するように操作すると同時に、チルト変数を、低頻度変動を考慮せずに、高頻度変動を最小化するように操作した。結果的に得られた多変数制御アルゴリズムを実施例 1 で収集したデータに適用し、図 1 0 ~ 1 6 に提示される模擬的なデータを生成した。

10

【 0 0 4 3 】

図 1 0 は、従来の P I 制御システムに従った経時 (x 軸) における結果的に得られた温度移動 (y 軸) のプロットである。図 1 1 は、多変数制御アルゴリズムに従った経時 (x 軸) における結果的に得られた温度移動 (y 軸) のプロットである。図 1 0 及び 1 1 に見られるように、模擬的なデータは、P I 熱制御が、多変数制御アルゴリズムと比較して、より大きい短期的及び長期的変動を有する (例えば、温度は、より多くの回数、変化し、変化はより大きい規模を示す) ことを示唆している。

【 0 0 4 4 】

図 1 2 は、従来の P I 制御システムに従った経時 (x 軸) における結果的に得られたチルト移動 (y 軸) のプロットである。図 1 3 は、多変数制御アルゴリズムに従った経時 (x 軸) における結果的に得られたチルト移動 (y 軸) のプロットである。図 1 3 に示されるように、模擬的なデータは、多変数制御アルゴリズムが、従来の P I 制御システムと比較して非常に小さい長期的変動を有することを示唆している。チルト移動は、高頻度成分に対処するように同調される。これは、標準的な P I 制御と比較した場合にはるかに小さい振幅 (およそ 5 倍) を有するチルト移動信号を結果的に生じる。

20

【 0 0 4 5 】

図 1 4、1 5、及び 1 6 は、それぞれ、従来の P I 温度制御システム、従来の P I チルト制御システム、及び多変数制御システムを使用する模擬的なウェッジ変動を例証している。図 1 4 ~ 1 6 の比較から分かるように、多変数制御システムは、チルトのみの使用に対して 7 0 % の改善を有する、はるかに小さいウェッジ変動を達成する。したがって、組み合わせた取り組みは、チルト又は熱補償のいずれかを単独で使用するよりも大きい制御をもたらす。

30

【 0 0 4 6 】

実施例 6

熱制御のみの使用に対し、チルト制御を使用するウェッジ変動における制御の改善を評価した後、模擬実験の結果を確認するために実験を行った。実験には、実施例 2 に使用したものと同一パラメータを使用した。特に、実施例 2 から得られたモデルを使用して、観察されたウェッジに対処するために更新されたチルト設定値を決定した (結果を図 1 7 に示す)。

【 0 0 4 7 】

図 1 7 及び 1 8 はウェッジ変動のチルト制御の達成可能性を決定するための実験結果を示している。特に、図 1 7 は、およそ 2 . 5 日間の期間にわたるチルト制御下での時間 (x 軸) の関数としてのウェッジの量 (y 軸) を示すプロットである。図 1 8 は、従来の自動厚さ制御システム (A T C S) を使用する熱制御下での時間 (x 軸) の関数としてのウェッジの量 (y 軸) を示すプロットである。従来の A T C S は、多変数ウェッジコントローラに関して説明したように、高頻度ウェッジ成分を無視するとともに、低頻度ウェッジ成分の制御に熱変数を特に使用しない。図 1 7 及び 1 8 の比較から分かるように、チルト制御を行っている間の電力の乱れにもかかわらず、従来の A T C S によってもたらされる熱制御を用いたウェッジ変動の制御と比較した場合に、チルト制御を使用してウェッジ変動の改善が達成された。とりわけ、チルト機構に対する角変化の最小量は実験の間に調整

40

50

され、制御運動の粗さによって、達成可能な帯域幅及び高頻度変動に対処する能力が制限された。それにもかかわらず、実験は、少ない保存運動制御で改善されることが期待される、良好な結果を示した。

【 0 0 4 8 】

図 1 9 は、ウェッジの制御のために A T C S を使用する熱制御の結果（図 1 8 に示される）と比較したチルト制御結果（図 1 7 に示される）のボックスプロットである。チルト制御は、四分位範囲（すなわち、ミッドスプレッド（midsread）又はミドルフィフティ（middle fifty））において 2 7 % の改善を示した。四分位範囲は、データ点の分散の代表であり、四分位範囲における改善は、ばらつきの低下を示す。チルト運動制御システムの制限にもかかわらず、熱制御に対する短期的変動の改善を実現した。

10

【 0 0 4 9 】

図 2 0 は、図 1 7 及び 1 8 に示されるデータについてのウェッジの時間（x 軸）の関数としてのローリング標準偏差（「S T D」）（y 軸）のプロットを示している。6 時間のウィンドウを使用し、全体のデータセット（およそ 4 5 時間）に対して 1 0 秒間の階段状とした。チルト下でのウェッジの結果は線 2 0 0 0 によって示されており、従来の A T C S を使用する熱制御下でのウェッジの結果は線 2 0 0 2 によって示されている。チルト制御の 6 時間のローリング S T D データセットについての平均変動値は線 2 0 0 4 で示されており、従来の A T C S 熱制御の 6 時間のローリング S T D データセットについての平均変動値は線 2 0 0 6 によって示されている。データは、チルトウェッジ制御システムが、A T C S 熱制御と比較して、平均しておよそ 1 5 % 低い短期的変動（0 . 0 8 2 5 に対して 0 . 0 7 ）を有していたことを示した。この場合もやはり、チルト制御実験の間の温度揺動にもかかわらず、上記改善が観察された。したがって、図 1 9 及び 2 0 は、チルトを用いたウェッジの制御が、熱制御のみを使用するウェッジの制御と比較して、より大きい制御とより少ない変動を生じうることを実証している。

20

【 0 0 5 0 】

実施例 7

チルト制御を用いたウェッジの制御の達成可能性を確認した後、生成した多変数制御アルゴリズムを試験して、熱制御のみを使用する従来のウェッジ制御方法に対する利益をもたらすか否かを判定した。特に、多変数制御アルゴリズムが熱変数に関して予期された通りに機能したか否かを判定するために、実験の間にチルトの移動はさせなかった。したがって、多変数ウェッジ制御、従来の A T C S 、及び従来の P I 制御システムの指示通りに熱制御を通じてウェッジを制御したシステムについて、数日間にわたってウェッジを測定した。さらに具体的には、従来の P I 制御システムについて 7 日間にわたって、及び、多変数ウェッジ制御システムについては 1 8 日間にわたってウェッジを測定した。総合的なウェッジ、短期頻度（1 ~ 3 時間）、及び長期（1 0 時間を超える）のウェッジ変動を観察し、比較した。

30

【 0 0 5 1 】

具体的には、図 2 1 は、多変数ウェッジ制御（M W C ）、従来の A T C S 、及び従来の P I 制御システムを使用するウェッジ制御の結果を例証している。表 1 は、追加の比較データを提供している。

40

【 0 0 5 2 】

【表 1】

	MWC	ATCS	PI	ATCSとの 差異 (%)	PIとの 差異 (%)
中央値	0.000759	-0.01583	0.002275	95	67
総合的 STD	0.36549	0.050328	0.046535	27	21
低頻度 STD	0.009657	0.035076	0.012548	72	23
高頻度 STD	0.034284	0.032869	0.043157	-4	21

表1: MWC、ATCS、及び PI 制御システムについてのウェッジ変動の比較

10

【 0 0 5 3 】

図 2 1 の左のボックスプロットは総合的なウェッジ変動を比較している。MWC は、従来の ATCS 及び PI 制御システムと比較して、より小さい中央値及びより狭い変動範囲を有していたことが分かる。中央のプロットは、ウェッジについての低頻度変動（長期周期）を示している。図 2 1 の右のボックスプロットは、高頻度におけるウェッジ変動を示している。ここでは、MWC を使用して観察された変動は、従来の ATCS を使用した場合に観察される変動と同様であり（4 % の悪化）、従来の PI 制御システムを使用した場合に見られる変動より良好であった（21 % の改善）。したがって、MWC は、従来の ATCS と比較して高頻度変動を補償するようには見えなかったが、アルゴリズム設計から期待されるように、従来の PI 制御システムのように高頻度変動を増幅しなかった。

20

【 0 0 5 4 】

前記内容に基づき、ガラスリボンの厚さウェッジを制御する方法のさまざまな態様が本明細書に開示されることが理解されよう。第 1 の態様によれば、ガラスリボンにおけるウェッジ変動を制御する方法は、成形容器の収束する側面上に溶融ガラスを流す工程、成形容器のルートから、ある幅を有するガラスリボンを延伸する工程、ガラスリボンの幅の少なくとも一部にわたってウェッジ変動を測定する工程、及び、測定されたウェッジ変動に基づいて成形容器のチルト及び成形容器の堰の近くの温度を調整し、ガラスリボンの幅にわたってウェッジ変動を低下させる工程を含む。

【 0 0 5 5 】

第 2 の態様において、フュージョンドロー装置は、成形容器の長さを画定する第 1 端部及び第 2 端部、並びにその上面に配置されたトラフを有する成形容器と、成形容器を傾動させて、成形容器の第 2 端部に対する成形容器の第 1 端部の位置を変化させるチルト機構と、成形容器の堰の近くの領域に熱を供給する少なくとも 1 つの加熱機構と、プロセッサとコンピュータ読取及び実行可能命令セットを記憶するメモリとを備えたコントローラを含む自動厚さ制御システムとを備えている。コンピュータ読取及び実行可能命令セットは、プロセッサによって実行された場合に、延伸の底部において厚さゲージからウェッジ変動計算値を受け取り、受け取ったウェッジ変動計算値に基づいて、ウェッジ変動の高頻度成分及びウェッジ変動の低頻度成分を決定し、チルト設定値を計算してウェッジ変動の高頻度成分を低減し、温度設定値を計算してウェッジ変動の低頻度成分を低減し、チルト機構にチルト設定値を供給し、かつ、少なくとも 1 つの加熱機構に温度設定値を供給する。

30

40

【 0 0 5 6 】

第 3 の態様において、ガラスリボンの幅にわたってウェッジ変動を制御する方法は、成形容器の収束する側面上に溶融ガラスを流す工程、成形容器のルートからある幅を有するガラスリボンを延伸する工程、ガラスリボンの幅の一部にわたってウェッジ変動を測定する工程、ウェッジ変動の高頻度成分に基づいて成形容器のチルトを調整し、ガラスリボンの幅にわたってウェッジ変動を低下させる工程、ウェッジ変動の低頻度成分に基づいて成形容器の堰の温度を調整し、ガラスリボンの幅にわたってウェッジ変動を低下させる工程、及び、ガラスリボンの幅の一部にわたって調整されたウェッジ変動を測定する工程を含む。

50

【 0 0 5 7 】

第 4 の態様は、ウェッジ変動の高頻度成分に基づいて成形容器のチルトの変化を特定する工程をさらに含む、第 1 ～ 第 3 の態様のいずれかを含む。

【 0 0 5 8 】

第 5 の態様は、成形容器のチルトを調整する工程が、成形容器の第 2 端部に対する成形容器の第 1 端部の位置を調整する工程を含み、成形容器の第 1 端部及び第 2 端部が、成形容器の収束する側面に対して垂直であり、かつ、成形容器の長さによって分離されていることを特徴とする、第 1 ～ 第 4 の態様のいずれかを含む。

【 0 0 5 9 】

第 6 の態様は、ウェッジ変動の低頻度成分に従って、堰の温度変化を特定する工程をさらに含む、第 1 ～ 第 5 の態様のいずれかを含む。

10

【 0 0 6 0 】

第 7 の態様は、堰の温度を調整する工程が、成形容器の上部の近くに配置された少なくとも 1 つの加熱機構のパワー出力を調整する工程を含む、第 1 から第 6 の態様のいずれかを含む。

【 0 0 6 1 】

第 8 の態様は、堰の温度を調整する工程が、成形容器の周りに配置された冷却機構のパワー出力を調整する工程を含む、第 1 ～ 第 7 の態様のいずれかを含む。

【 0 0 6 2 】

第 9 の態様は、堰の温度を調整する工程が、少なくとも 1 つの加熱機構のパワー出力を調整する工程、及び、成形容器の周りに配置された冷却機構のパワー出力を調整する工程を含む、第 1 ～ 第 8 の態様のいずれかを含む。

20

【 0 0 6 3 】

第 10 の態様は、自動厚さ制御システムが、チルト設定値に基づいて、成形容器のチルトの度合いを調整することを特徴とする、第 1 ～ 第 9 の態様のいずれかを含む。

【 0 0 6 4 】

第 11 の態様は、自動厚さ制御システムが、温度設定値に基づいて、成形容器の堰の領域に供給される熱の量を調整することを特徴とする、第 1 ～ 第 10 の態様のいずれかを含む。

【 0 0 6 5 】

第 12 の態様は、堰の近くに配置された冷却機構をさらに含み、自動厚さ制御システムが、温度設定値に基づいて、成形容器の堰の領域を能動的に冷却させることを特徴とする、第 1 ～ 第 11 の態様のいずれかを含む。

30

【 0 0 6 6 】

第 13 の態様は、自動厚さ制御システムが、チルト設定値を計算してウェッジ変動の高頻度成分を最小化することを特徴とする、第 1 ～ 第 12 の態様のいずれかを含む。

【 0 0 6 7 】

第 14 の態様は、自動厚さ制御システムが、温度設定値を計算してウェッジ変動の低頻度成分を最小化することを特徴とする、第 1 ～ 第 13 の態様のいずれかを含む。

【 0 0 6 8 】

第 15 の態様は、自動厚さ制御システムが、ウェッジ変動の低頻度成分とは無関係にチルト設定値を計算することを特徴とする、第 1 ～ 第 14 の態様のいずれかを含む。

40

【 0 0 6 9 】

第 16 の態様は、自動厚さ制御システムが、ウェッジ変動の高頻度成分とは無関係に温度設定値を計算することを特徴とする、第 1 ～ 第 15 の態様のいずれかを含む。

【 0 0 7 0 】

第 17 の態様は、ガラスリボンの幅の一部が、ガラスリボンのビード領域を含まないことを特徴とする、第 1 ～ 第 16 の態様のいずれかを含む。

【 0 0 7 1 】

第 18 の態様は、成形容器のチルトを調整する工程が、チルトの度合い及びウェッジ変

50

化の量に基づいて、チルト設定値を決定する工程を含む、第 1 ~ 第 17 の態様のいずれかを含む。

【0072】

第 19 の態様は、堰の近くの温度を調整する工程が、温度及びウェッジ変化の量に基づいて、温度設定値を決定する工程を含む、第 1 から第 18 の態様のいずれかを含む。

【0073】

第 20 の態様は、調整されたウェッジ変動の高頻度成分に基づいて、成形容器のチルトを調整する工程、及び、調整されたウェッジ変動の低頻度成分に基づいて、成形容器の堰の温度を調整する工程をさらに含む、第 1 から第 19 の態様のいずれかを含む。

【0074】

特許請求される主題の精神及び範囲から逸脱することなく、本明細書に記載の実施形態には、さまざまな修正及び変更がなされうことは、当業者にとって明白であろう。よって、本明細書は、このような修正及び変更が添付の特許請求の範囲及びその等価物の範囲内に入ることを条件に、本明細書に記載のさまざまな実施形態の修正及び変更にも及ぶことが意図されている。

【0075】

以下、本発明の好ましい実施形態を項分け記載する。

【0076】

実施形態 1

ガラスリボンにおけるウェッジ変動を制御する方法であって、
成形容器の収束する側面上に熔融ガラスを流す工程、
前記成形容器のルートからある幅を有するガラスリボンを延伸する工程、
前記ガラスリボンの幅の少なくとも一部にわたって前記ウェッジ変動を測定する工程、
及び

前記測定されたウェッジ変動に基づいて前記成形容器のチルト及び前記成形容器の堰の近くの温度を調整し、前記ガラスリボンの幅にわたる前記ウェッジ変動を低下させる工程を含む方法。

【0077】

実施形態 2

前記ウェッジ変動の高頻度成分に基づいて前記成形容器の前記チルトの変化を特定する工程をさらに含む、実施形態 1 に記載の方法。

【0078】

実施形態 3

前記成形容器の前記チルトを調整する工程が、前記成形容器の第 2 端部に対して前記成形容器の第 1 端部の位置を調整する工程を含み、前記成形容器の前記第 1 端部及び前記第 2 端部が、前記成形容器の収束する側面に対して垂直であり、前記成形容器の長さによって分離されていることを特徴とする、実施形態 1 又は 2 に記載の方法。

【0079】

実施形態 4

前記ウェッジ変動の低頻度成分に従った前記堰における前記温度の変化を特定する工程をさらに含む、実施形態 1 又は 2 に記載の方法。

【0080】

実施形態 5

前記堰における前記温度を調整する工程が、前記成形容器の上部に配置された少なくとも 1 つの加熱機構のパワー出力を調整する工程を含む、実施形態 4 に記載の方法。

【0081】

実施形態 6

前記堰における前記温度を調整する工程が、前記成形容器の周りに配置された冷却機構のパワー出力を調整する工程を含む、実施形態 4 に記載の方法。

【0082】

10

20

30

40

50

実施形態 7

前記堰における前記温度を調整する工程が、少なくとも 1 つの加熱機構のパワー出力を調整する工程、及び、前記成形容器の周りに配置された冷却機構のパワー出力を調整する工程を含む、実施形態 4 に記載の方法。

【 0 0 8 3 】

実施形態 8

フュージョンドロー装置であって、

成形容器の長さを画定する第 1 端部及び第 2 端部を有する成形容器、及びその上面に配置されたトラフと、

前記成形容器を傾動させて、前記成形容器の前記第 2 端部に対する前記成形容器の前記第 1 端部の位置を変化させるチルト機構と、

前記成形容器の堰の近くの領域に熱を供給する少なくとも 1 つの加熱機構、及び

プロセッサと、コンピュータ読取及び実行可能命令セットを記憶するメモリとを備えたコントローラを含む自動厚さ制御システムであって、前記プロセッサによって実行された場合に：

延伸の底部において厚さゲージからウェッジ変動計算値を受け取り、

受け取った前記ウェッジ変動計算値に基づいて、前記ウェッジ変動の高頻度成分及び前記ウェッジ変動の低頻度成分を特定し、

チルト設定値を計算して前記ウェッジ変動の前記高頻度成分を低減し、

温度設定値を計算して前記ウェッジ変動の前記低頻度成分を低減し、

前記チルト機構に前記チルト設定値を供給し、

前記少なくとも 1 つの加熱機構に前記温度設定値を供給する、

自動厚さ制御システムと

を備えた、フュージョンドロー装置。

【 0 0 8 4 】

実施形態 9

前記自動厚さ制御システムが、前記チルト設定値に基づいて前記成形容器のチルトの度合いを調整することを特徴とする、実施形態 8 に記載のフュージョンドロー装置。

【 0 0 8 5 】

実施形態 10

前記自動厚さ制御システムが、前記温度設定値に基づいて前記成形容器の前記堰の前記領域に供給される熱の量を調整することを特徴とする、実施形態 8 に記載のフュージョンドロー装置。

【 0 0 8 6 】

実施形態 11

前記堰の近くに配置された冷却機構をさらに備え、前記自動厚さ制御システムが、前記成形容器の前記堰の前記領域を前記温度設定値に基づいて能動的に冷却させることを特徴とする、実施形態 8 に記載のフュージョンドロー装置。

【 0 0 8 7 】

実施形態 12

前記自動厚さ制御システムが、前記チルト設定値を計算して、前記ウェッジ変動の前記高頻度成分を最小化することを特徴とする、実施形態 8 に記載のフュージョンドロー装置。

【 0 0 8 8 】

実施形態 13

前記自動厚さ制御システムが、前記温度設定値を計算して、前記ウェッジ変動の前記低頻度成分を最小化することを特徴とする、実施形態 8 に記載のフュージョンドロー装置。

【 0 0 8 9 】

実施形態 14

前記自動厚さ制御システムが、前記ウェッジ変動の前記低頻度成分とは無関係に前記チ

10

20

30

40

50

ルト設定値を計算することを特徴とする、実施形態 8 に記載のフュージョンドロー装置。

【 0 0 9 0 】

実施形態 1 5

前記自動厚さ制御システムが、前記ウェッジ変動の前記高頻度成分とは無関係に前記温度設定値を計算することを特徴とする、実施形態 8 に記載のフュージョンドロー装置。

【 0 0 9 1 】

実施形態 1 6

ガラスリボンの幅にわたってウェッジ変動を制御する方法であって、
 成形容器の収束する側面上に熔融ガラスを流す工程、
 前記成形容器のルートから、ある幅を有するガラスリボンを延伸する工程、
 前記ガラスリボンの前記幅の一部にわたって前記ウェッジ変動を測定する工程、
 前記ウェッジ変動の高頻度成分に基づいて前記成形容器のチルトを調整し、前記ガラスリボンの前記幅にわたる前記ウェッジ変動を低下させる工程、
 前記ウェッジ変動の低頻度成分に基づいて前記成形容器の堰の温度を調整し、前記ガラスリボンの前記幅にわたる前記ウェッジ変動を低下させる工程、及び
 前記ガラスリボンの前記幅の前記一部にわたって、調整されたウェッジ変動を測定する工程
 を含む、方法。

10

【 0 0 9 2 】

実施形態 1 7

前記ガラスリボンの前記幅の前記一部が、前記ガラスリボンのビード領域を含まないことを特徴とする、実施形態 1 6 に記載の方法。

20

【 0 0 9 3 】

実施形態 1 8

前記成形容器の前記チルトを調整する工程が、前記チルトの度合い及び前記ウェッジ変化の量に基づいてチルト設定値を特定する工程を含むことを特徴とする、実施形態 1 6 に記載の方法。

【 0 0 9 4 】

実施形態 1 9

前記堰の近くの前記温度を調整する工程が、前記温度及び前記ウェッジ変化の量に基づいて温度設定値を特定する工程を含むことを特徴とする、実施形態 1 6 に記載の方法。

30

【 0 0 9 5 】

実施形態 2 0

前記調整されたウェッジ変動の高頻度成分に基づいて前記成形容器の前記チルトを調整する工程、及び
 前記調整されたウェッジ変動の低頻度成分に基づいて前記成形容器の前記堰における前記温度を調整する工程
 をさらに含む、実施形態 1 6 に記載の方法。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 6 】

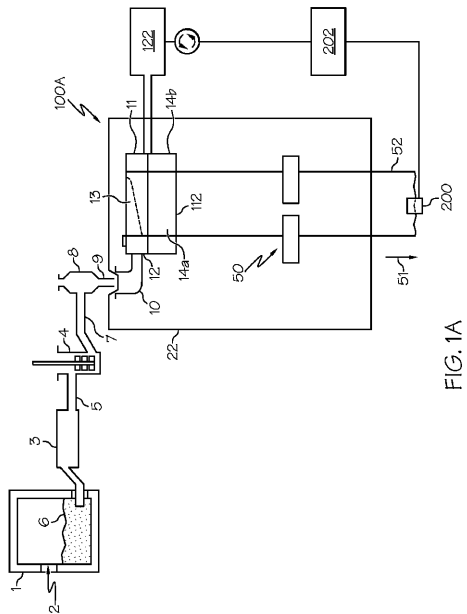
- 1 熔融容器
- 3 清澄容器
- 4 混合容器
- 5 連結管
- 6 熔融ガラス
- 7 連結管
- 8 供給容器
- 9 下降管
- 1 0 入口
- 1 1 成形容器

40

50

1 2	開口	
1 3	トラフ	
1 4 a , 1 4 b	収束する側面	
2 2	筐体	
5 0	延伸アセンブリ	
5 2	ガラス基板	
1 0 0	フュージョンドロー装置	
1 0 0 A	ガラス製造装置	
1 0 2	成形容器	
1 0 4	第 1 端部	10
1 0 6	第 2 端部	
1 0 8	トラフ	
1 1 0	堰	
1 1 2	ルート、下縁部	
1 1 4	ガラスリボン	
1 1 6	幅	
1 1 8	厚さ	
1 2 0	加熱機構	
1 2 2	チルト機構	
2 0 0	厚さゲージ	20
2 0 2	多変数制御システム	
3 0 0	ウェッジ変動を制御する方法	
3 0 2	電流ウェッジ設定値	
3 0 4	ウェッジ	
3 0 6	コンパレータ	
3 0 8	ステップ	
3 1 0	温度設定値	
3 1 2	チルト設定値	
3 1 4	電流温度	
3 1 6	コンパレータ	30
3 1 8	温度コントローラ	
3 2 0	熱プロセス	
3 2 2	温度ウェッジプロセス	
3 2 4	コンパレータ	
3 2 6	電流チルト角	
3 2 8 , 3 3 0	ステップ	
3 3 2	チルトウェッジプロセス	
3 3 4	加算点	
3 3 6	ウェッジの乱れ	
3 4 0	ウェッジ	40

【 図 1 A 】



【 図 1 B 】

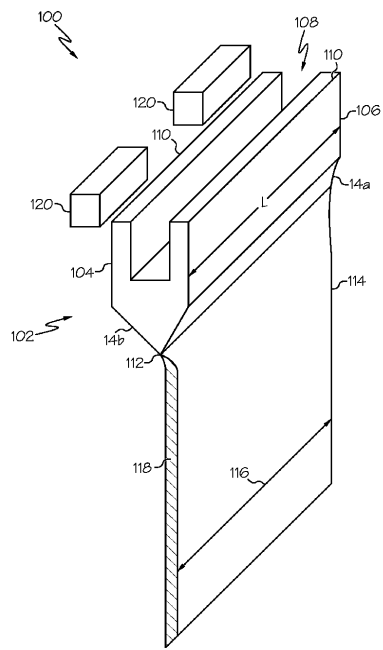
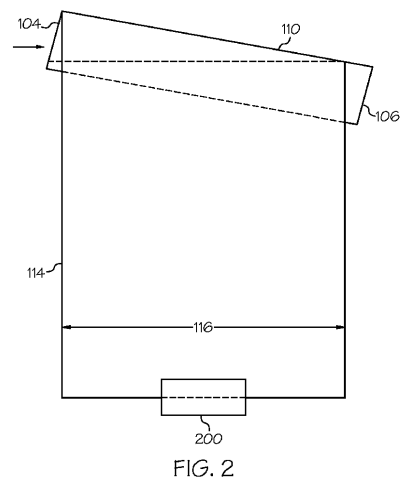
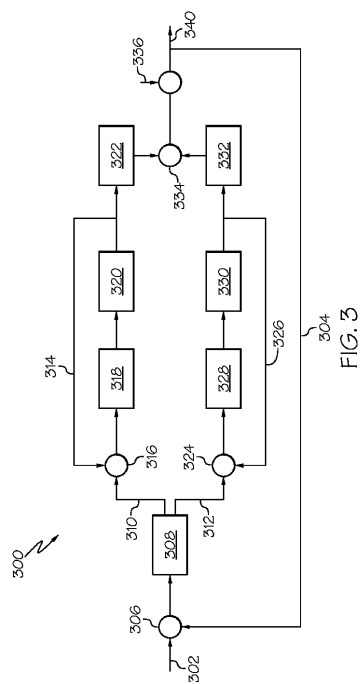


FIG. 1B

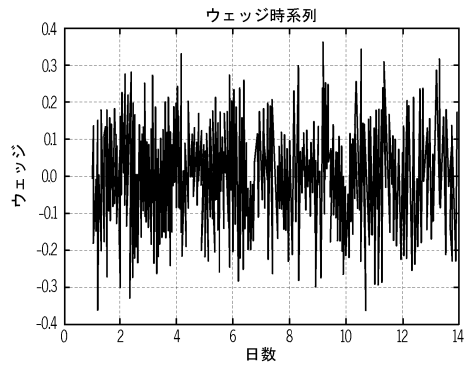
【圖 2】



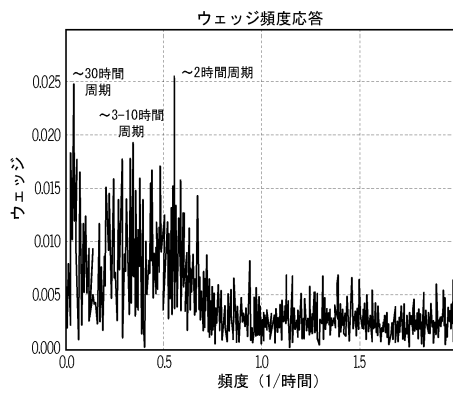
【 図 3 】



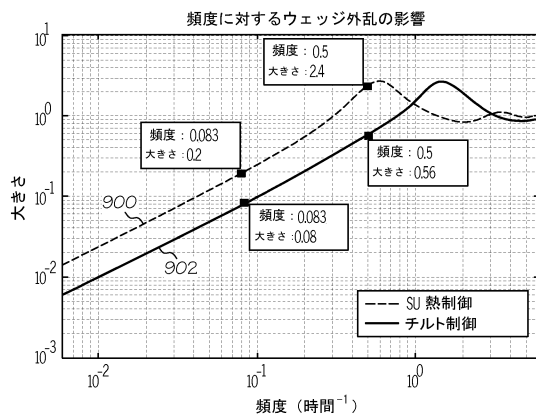
【図 4】



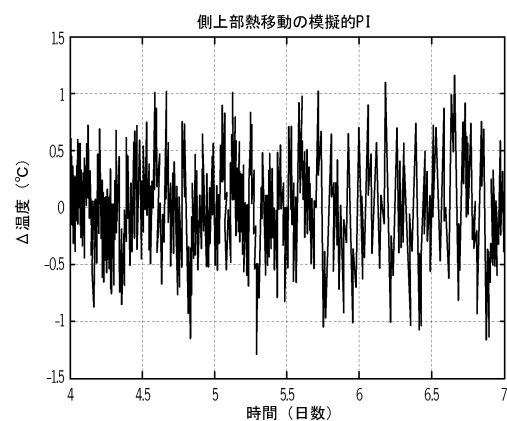
【図 5】



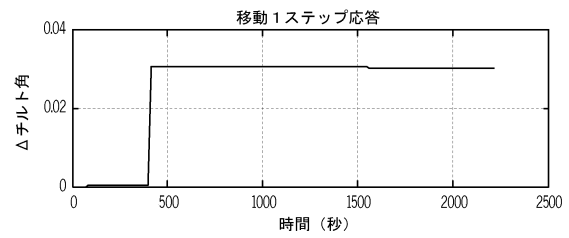
【図 9】



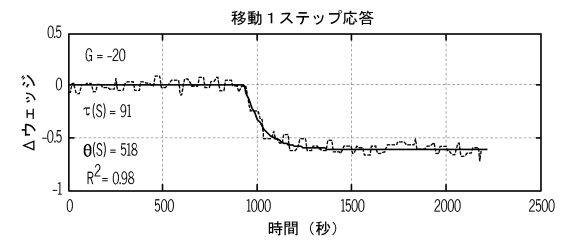
【図 10】



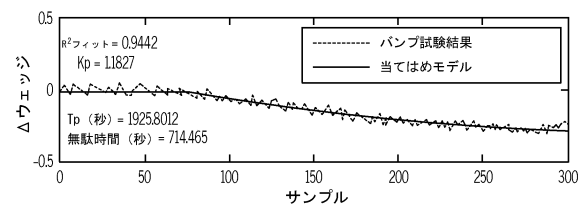
【図 6】



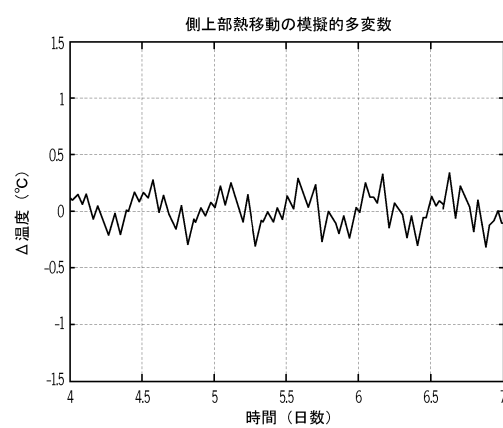
【図 7】



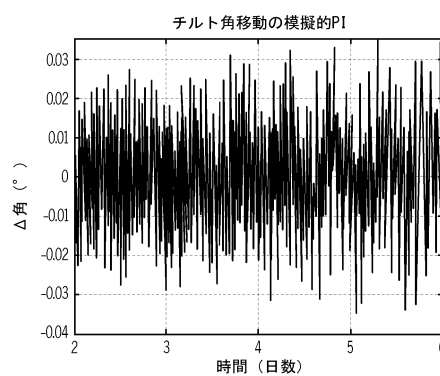
【図 8】



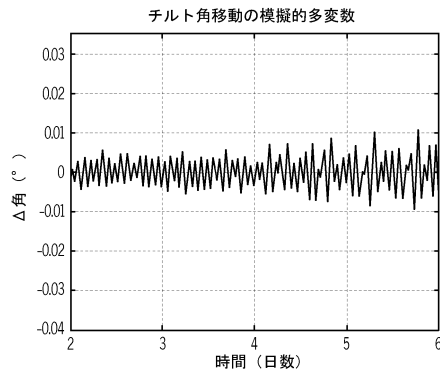
【図 11】



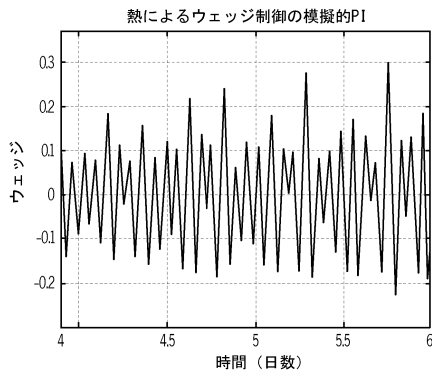
【図 12】



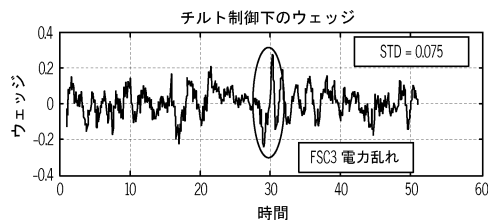
【図 13】



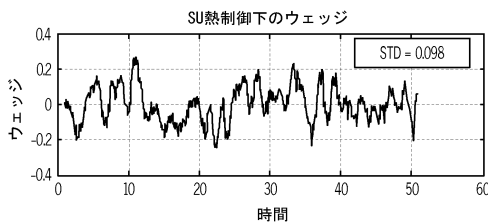
【図 14】



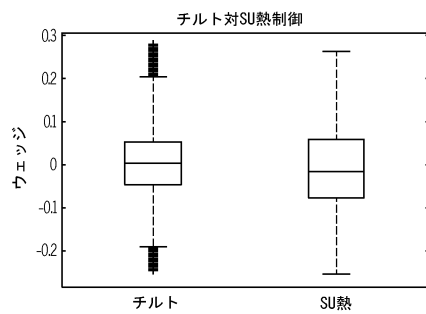
【図 17】



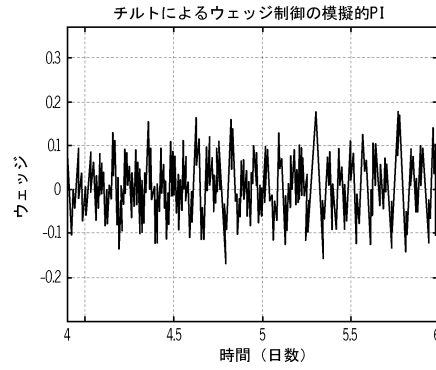
【図 18】



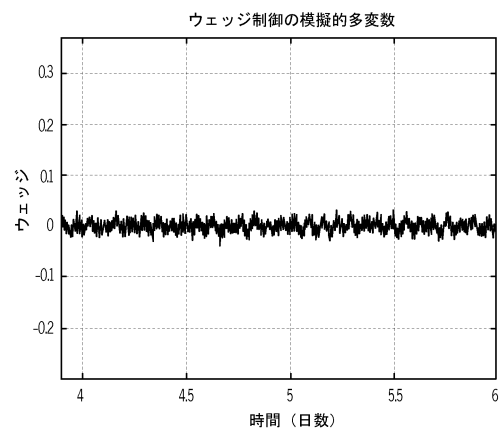
【図 19】



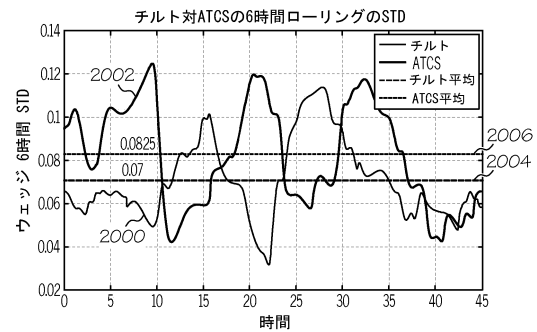
【図 15】



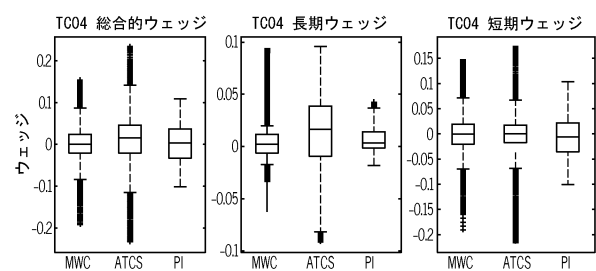
【図 16】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2007-528338(JP,A)

米国特許出願公開第2001/0039814(US,A1)

米国特許出願公開第2014/0123703(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

C03B 17/00 - 17/06