(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2013 年 1 月 31 日(31.01.2013)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2013/015102 A1

(51) 国際特許分類:
H01J 37/153 (2006.01) *G06N 3/00* (2006.01)
G05B 13/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/067440

(22) 国際出願日: 2012 年 7 月 9 日(09.07.2012)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2011-163528 2011 年 7 月 26 日(26.07.2011) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社日立ハイテクノロジーズ (HITACHI HIGH-TECHNOLOGIES CORPORATION) [JP/JP]; 〒1058717 東京都港区西新橋一丁目２４番１４号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 秋間 学尚 (AKIMA Hisanao) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目２８０番地 株式会社日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP). 平山 陽一 (HIRAYAMA Yoichi) [JP/JP]; 〒1858601 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目２８０番地 株式会社日立製作所 中央研究所内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: ポレール特許業務法人 (POLAIRE I.P.C.); 〒1040032 東京都中央区八丁堀二丁目７番１号 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) **Title**: CHARGED PARTICLE BEAM DEVICE

(54) 発明の名称 : 荷電粒子線装置

[図1]

図 1

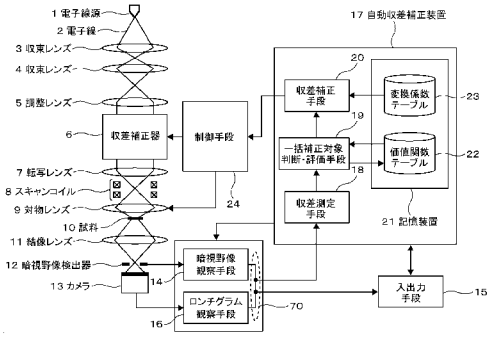


Fig. 1
1 Electron beam source
2 Electron beam
3, 4 Converging lens
5 Adjustment lens
6 Aberration corrector
7 Transferring lens
8 Scan coil
9 Object lens
10 Sample
11 Imaging lens
12 Dark-field image detector
13 Camera
14 Dark-field image observation means
15 Input/output means
16 Ronchigram observation means
17 Automatic aberration-correcting device
18 Aberration measurement means
19 Means for determining and evaluating object for batch correction
20 Aberration correction means
21 Storage device
22 Value function table
23 Conversion coefficient table
24 Control means

(57) **Abstract**: This charged particle beam device comprises: an electron beam source (1); a charged particle optical system that includes an object lens (9) and that irradiates a sample (10) with electrons emitted from the electron beam source (1) as an electron beam (2); an aberration corrector (6) that corrects aberrations in the charged particle optical system; and a control means (24) that controls the components of the charged particle optical system and the aberration corrector (6). The charged particle beam device further comprises an automatic aberration-correcting device (17) that autonomously acquires, through learning, an optimal adjustment procedure in order to reduce the time required for correcting parasitic aberrations that arise in the aberration corrector (6).

(57) 要約: 電子線源（１）と、対物レンズ（９）を含み前記電子線源（１）から放出された電子を電子線（２）として試料（１０）に照射する荷電粒子光学系と、該荷電粒子光学系の収差を補正する収差補正器（６）と、前記荷電粒子光学系と前記収差補正器（６）の各構成要素を制御する制御手段（２４）とを備えた荷電粒子線装置において、前記収差補正器（６）に発生する寄生収差の補正に要する時間を短くするために、自律的に最適な調整手順を学習により獲得する自動収差補正装置（１７）を備えるようにした。

WO 2013/015102 A1

MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 荷電粒子線装置

技術分野

[0001] 本発明は、荷電粒子線装置に係り、特に、自動球面収差補正装置を備えた荷電粒子線装置に関する。

背景技術

[0002] 近年の透過型電子顕微鏡（ＴＥＭ）や走査型透過電子顕微鏡（ＳＴＥＭ）等の荷電粒子線装置には、球面収差補正装置（以下、収差補正器）を備えたものがある。この収差補正器は、ＴＥＭやＳＴＥＭにおいて分解能を制限する主な要因である対物レンズの球面収差（Ｃｓ）を補正するために用いられる。収差補正器としては、６極子場を発生させる２つの多極子レンズと、その間に２枚の軸対称レンズ（伝達レンズ）を配置したものが知られている（例えば特許文献１参照）。

[0003] 収差補正器により対物レンズのＣｓは補正される。しかし、収差補正器の不完全性、すなわち、多極子レンズを構成する個々の極子の位置ずれや、極子材料の磁気的特性のばらつきなどにより、寄生収差と呼ばれる余分な収差が発生してしまう。発生する３次以下の寄生収差は、２回対称１次非点収差（Ａ１）、１回対称２次コマ収差（Ｂ２）、３回対称２次非点収差（Ａ２）、２回対称３次スター収差（Ｓ３）、４回対称３次非点収差（Ａ３）である。収差補正器の調整においては、Ｃｓの補正に加え、これら寄生収差の補正が必須となる。

[0004] 製品の収差補正器にはＣｓと寄生収差を補正するためのアライメント・ツールが付属しており、調整者はアライメント・ツールを用いることで半自動的に収差補正器の調整を行うことが出来る（例えば非特許文献１参照）。アライメント・ツールのＧＵＩ（グラフィカル・ユーザー・インターフェース）上には、収差測定ボタンと、複数ある収差のそれぞれに対応した収差補正ボタンが配置されている。収差測定ボタンを押すことで、複数枚取得された

電子顕微鏡像から光学系に残存する各収差の大きさを表す収差係数が測定される（収差測定の方法に関しては例えば特許文献２参照）。収差補正ボタンを押すことで、測定された収差係数に応じて収差補正器にフィードバックがかかり、指定した収差が補正される（収差補正の方法に関しては例えば特許文献３、特許文献４参照）。

[0005] アライメント・ツールを用いることで収差の測定と補正については自動で行われるが、収差測定の結果に基づいてどの収差を優先的に補正すべきかの判断は、調整者に委ねられている。通常、調整者は収差係数が最も大きい収差から優先的に補正していき、３次以下の収差が全て許容値以下となるまで補正を繰り返す。

[0006] 光ディスク装置の分野においては、収差を補正するための最適な制御量を学習する（探索により見つけた最適な状態を記録する）方法が開示されている（特許文献５参照）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：特表２００２－５１０４３１号公報

特許文献2：特開２００７－１８００１３号公報

特許文献3：特開２００７－２６６００８号公報

特許文献4：特開２００６－１１４３０４号公報

特許文献5：特開２０１０－２１８５９１号公報

非特許文献

[0008] 非特許文献1：P. Hawkes, “Advances in IMAGING and ELECTRON PHYSICS Vol.153 Aberration-corrected Electron microscopy”, Academic Press, p. 63 (2008)

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] 上述したように、アライメント・ツールを用いることで収差補正器の調整

は半自動的に行われるが、調整に要する時間は補正する収差の判断によって変わってくる。

[0010] ここで難しいのが、どの収差を補正するかの判断である。収差測定で得られる収差係数には誤差が避けられず、相対的に小さい収差ほど測定誤差が大きくなる傾向がある。例えば、ある一つの収差が支配的に大きい場合、他の小さな収差の測定誤差は大きくなり、測定誤差の大きな収差係数に基づいて補正を行うと収差が増えてしまうことがある。また、収差補正は互いに独立しているものもあるが干渉しあうものもあり、一方を補正すると他方が増えることがある。特に、３次収差の補正は２次以下の収差を増やす傾向がある。

[0011] そのため、従来技術においては、収差係数が最大のものを１つだけ選んで優先的に補正するといった比較的簡単な規則に基づいた自動調整しか実現されていない（例えば特許文献４参照）。

[0012] また、特許文献５に記載の技術の荷電粒子線装置への適用は困難である。何故なら、電磁レンズにヒステリシス特性があるため、装置の電源を落とすなどして電磁レンズの状態を大きく変化させた後に電磁レンズの状態を以前の最適な状態に復帰させても、元の最適な状態には戻らないからである。

[0013] 荷電粒子線装置において、収差係数が最も大きい収差だけでなく、２番目、３番目に大きい収差も一度に補正してしまえば、収差測定の回数が減ると考えられる。一般に、収差測定では１回の収差測定に対して複数の電子顕微鏡像を取得する必要があるために、１分前後の時間がかかる。しかし、収差補正のための収差補正器へのフィードバックでは１秒以下程度の時間しかかからない。そのため、１回の収差測定に対して同時に複数の収差を補正することができれば収差測定の回数を減らせるので、調整時間短縮の効果は大きいと考えられる。

[0014] 熟練した調整者は、各収差係数の大きさの割合や、どの収差係数が支配的なのかを考慮しながら、経験によって複数の収差を一度に補正する判断を下せる。こうした経験をあらかじめプログラム化しておけば、調整時間が短く

なるような補正の判断を自動的に行うアライメント・ツールが実現できると考えられる。しかし、収差係数の大きさと種類の無数の組み合わせに対して最適な補正の判断をあらかじめ記述しておくのは現実的ではない。特に、荷電粒子線装置は、仕様が異なる場合のみならず仕様が同じ場合でもそれぞれ固有の因子、例えば、製作誤差に起因する極子のずれや磁気的特性のばらつき等の個体差や装置の設置環境の差等（以下、個体差）があり、これらの個体差を全て反映した荷電粒子線装置毎の、最適な補正の判断を自動的に行うことは実用化されていない。

[0015] このように、従来技術において、収差の測定と補正は自動化されていたが、収差測定の回数を減らし調整時間を短くすることに関して、どのような補正を行うべきかの判断は自動化されていなかった。

[0016] 本発明の目的は、複数の収差に対する補正の判断を自動的に行うための最適な調整手順を学習により獲得し、調整時間をより短くすることのできる、自動収差補正装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0017] 上記課題を解決するために、本発明では、荷電粒子線源と、前記荷電粒子線源から放出された荷電粒子を荷電粒子線として試料に対して照射する荷電粒子光学系と、前記荷電粒子光学系の収差を補正する収差補正器と、前記荷電粒子光学系と前記収差補正器の各構成要素を制御する制御手段とを備えた荷電粒子線装置において、自律的に最適な調整手順を学習により獲得する自動収差補正装置を備えることを特徴とする。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、各収差測定に対して過去の調整で効果のあった収差補正を複数同時に実施するので、調整時間の短い自動収差補正が可能となる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の第一の実施形態における、荷電粒子線装置のシステムの構成例を示す図である。

[図2]第一の実施形態において、学習機能を実現している一括補正対象判断・

評価手段と価値関数テーブルの相互作用を示す図である。

[図3]価値関数テーブルの構造例を示す図である。

[図4]第一の実施形態における、学習機能付き自動収差補正プロセスのフローチャートである。

[図5]状態関数による収差状態の数値化手順を示すフローチャートである。

[図6]補正目標値の例を示す図である。

[図7]状態関数における判定基準の例を示す図である。

[図8]価値関数テーブルの収差状態s_{128}の更新前、更新後の例を示す図である。

[図9]政策関数による補正する収差の選択手順を示したフローチャートである。

[図10]乱数による収差選択の概念を示した図である。

[図11]報酬関数による補正結果の評価手順を示したフローチャートである。

[図12]Ｑ学習による価値関数テーブルの更新手順を示したフローチャートである。

[図13]第一の実施形態における、自動収差補正ＧＵＩの画面を示した図である。

[図14]学習情報ＧＵＩの画面を示した図である。

[図15]本発明の第二の実施形態における、収差係数のばらつきを考慮した収差補正の手順を示すフローチャートである。

[図16]本発明の第三の実施形態における、ヒストリーＧＵＩの画面を示した図である。

[図17]第三の実施形態における、補正のアンドゥ機能を実現するための構成図である。

[図18A]本発明の第四の実施形態における、一括補正対象判断・評価手段と価値関数テーブルの相互作用を示す図である。

[図18B]第四の実施形態における、教示ＧＵＩの画面を示した図である。

発明を実施するための形態

[0020] 本発明の荷電粒子線装置は、荷電粒子線源と、前記荷電粒子線源から放出された荷電粒子を荷電粒子線として試料に対して照射する荷電粒子光学系と、前記荷電粒子光学系の収差を補正する収差補正器と、前記荷電粒子光学系と前記収差補正器の各構成要素を制御する制御手段とを有するものにおいて、学習により複数の収差に対する最適な調整手順を獲得する自動収差補正装置を備えている。

本発明の代表的な実施形態では、収差係数の組み合わせ毎に各収差を補正したときに期待される効果（価値）を記述したテーブル（価値関数テーブル）を用意する。価値関数テーブルは、ある収差状態に対してどの収差を優先的に補正すべきかを数値化した表である。そして、価値関数テーブルに基づいて計算された収差補正の選択確率に従って一度に複数の収差の補正を試みる。すなわち、自動収差補正装置は、複数の収差を対象に一括して補正を行い、一括して評価することが可能である。ただし、測定された収差状態によっては、一度に１つの収差を対象とすることも当然有りうる。各補正の効果は報酬として各々定量化され、強化学習法により価値関数テーブルが更新される。報酬の大きい（補正の結果、収差が大きく減少した）補正ほど価値が高くなり、次回の補正における選択確率が上昇する。逆に、負の報酬をもたらした（補正の結果、収差が増えた）補正の価値は下がり、選択確率は下降する。このように、複数収差の同時補正の試みと、それらの補正効果の評価を、各収差が（目標の分解能が得られる）目標値以下の値となるまで繰り返す。調整を繰り返すほど価値関数テーブルは最適化されていき、過去の調整経験を活かした収差補正の判断が下せるようになる。換言すると、強化学習の結果得られた価値関数テーブルは、ある収差状態における各収差の最適な調整手順を数値として与える表である。

[0021] 各収差測定に対して過去の調整で効果のあった収差補正を複数同時に実施するので、調整時間の短い自動収差補正が可能となる。

また、自動収差補正装置が自律的に最適な調整手順を学習により獲得するので、ユーザは熟練した調整者でなくても適切な収差補正を行うことができ

る。

このように、収差補正を複数同時に実施可能な最適な調整手順を、強化学習により獲得することで、個々の荷電粒子線装置固有の状況を反映した、調整時間の短い自動収差補正が可能となる。

以下、本発明の実施の形態について、図面に基づき詳細に説明する。

実施例 1

[0022] 本発明の第一の実施形態になる荷電粒子線装置の例を、図１～図１３を参照しながら説明する。

図１は、第一の実施形態における荷電粒子線装置の全体的なシステムの構成例を示す図である。図１では、荷電粒子線装置として走査型透過電子顕微鏡（ＳＴＥＭ）を例にとって説明する。荷電粒子線装置は、電子線源１（荷電粒子線源）と、この荷電粒子線源から放出された荷電粒子を荷電粒子線として試料１０に対して照射する荷電粒子光学系と、荷電粒子光学系の収差を補正する収差補正器６と、荷電粒子光学系と収差補正器の各構成要素を制御する制御手段２４と、自動収差補正装置１７とを備えている。

[0023] 電子線源１から放出された電子線２は、収束レンズ３、４の作用を受けて調整レンズ５の物面に焦点を結び、調整レンズ５の作用により収差補正器６に平行入射する。

[0024] 収差補正器６では電子線２の各収差が補正され、転写レンズ７の作用により対物レンズ９の上方に焦点を結ぶ。収差補正器６は、例えば、多段の６極子レンズと伝達レンズとを備え、Ｃｓ，Ａ１，Ｂ２，Ａ２，Ｃ３，Ｓ３，Ａ３の各収差が自動的に補正される。

[0025] 収差が補正された電子線２は、対物レンズ９により収束されて、試料１０上に微小なプローブを形成する。該プローブで試料１０上をスキャンコイル８により走査し、試料１０から出てくる散乱波を暗視野像検出器１２で受け、該散乱波の強度を暗視野像観察手段１４によりプローブ走査と同期させて入出力手段１５の画像表示部に輝点列として表示することで、試料１０の暗視野像を得る。ロンチグラムを観察する際には、スキャンコイル８による電

子線の走査を止め、試料１０から出てくる透過・散乱波をカメラ１３で受け、該透過・散乱波の強度の２次元的な分布を、ロンチグラム観察手段１６により入出力手段１５の画像表示手段部に輝点列として表示する。結像レンズ１１は、暗視野像検出器１２とカメラ１３に入射する電子線の拡がりを調整する。暗視野像観察手段１４とロンチグラム観察手段１６は、入出力手段１５及び自動収差補正装置１７と相互に接続されている。自動収差補正装置１７の測定方法に基づき、切替え機能７０により、暗視野像観察手段１４とロンチグラム観察手段１６のいずれかの出力が選択される（図２参照）。また、入出力手段１５には、必要に応じて、ＧＵＩ機能を有する複数の画面を備えた画面表示部を設け、各画面上のボタンや画像などを選択する事で、ユーザが荷電粒子線装置に対して各種の入力操作を行なったり出力情報を取得したりするようにしても良い。

[0026] 自動収差補正装置１７は、収差測定手段１８、一括補正対象判断・評価手段１９、収差補正手段２０で構成される。収差測定手段１８は、暗視野像観察手段１４から出力される暗視野像、もしくはロンチグラム観察手段１６から出力されるロンチグラムを用いて、収差係数を測定する。一括補正対象判断・評価手段１９は、収差測定手段１８で測定された収差係数と、記憶装置２１に保存された価値関数テーブル２２を元に補正する収差を一括して複数あるいは１つ選択し、収差補正手段２０に補正の指示を出す。収差補正手段２０は一括補正を指示された各収差係数について、記憶装置２１に保存された変換係数テーブル２３を参照することで各収差係数から補正に必要な電流、電圧等の各制御量を算出し（変換係数テーブルはあらかじめ較正しておく）、制御手段２４に各制御信号を出力する。該各制御信号に基づいて制御手段２４が収差補正器６と対物レンズ９にフィードバックをかけることで、各収差が補正される。一括補正対象判断・評価手段１９で、収差補正の効果が評価され、この学習結果が価値関数テーブル２２に反映される。なお、自動収差補正装置１７は、例えば、コンピュータに上記収差測定手段、一括補正対象判断・評価手段、及び収差補正手段の各機能を実現させるプログラムに

より、実現される。

[0027] 本発明における自動収差補正装置１７は、収差補正を複数同時に実施し、学習する機能を有している。この自動収差補正の学習機能は、主に、一括補正対象判断・評価手段１９と価値関数テーブル２２により実現される。一括補正対象判断・評価手段１９は、複数の収差を対象に、一括して補正を行い、一括して評価することができる。この一括補正対象判断・評価手段１９は、収差補正選択器２５と、収差補正評価器２６とを有している（図２参照）。収差補正選択器２５は、一括補正する複数あるいは１つの収差を選択して収差補正手段２０に補正の指示を出す。収差補正評価器２６において、補正後の収差補正の効果は報酬として各々定量化され、この報酬に基づいて価値関数テーブル２２が更新される。このような自律的な学習を、複数収差を対象に一括して行うことができる。この価値関数テーブル２２に基づく調整手順を利用することで、荷電粒子線装置の個体差を反映した、調整時間の短い自動収差補正が可能となる。

図２は、一括補正対象判断・評価手段１９と価値関数テーブル２２の相互作用をある時点における補正の前後に分けて示したもので、補正前を試行フェーズ、補正後を評価フェーズと呼ぶ。試行フェーズ（図２（ａ））では、収差測定手段１８で測定された補正前の各収差係数と価値関数テーブル２２を元に、収差補正選択器２５が一括補正する収差を複数選択し、収差補正手段２０に一括補正の指示を出す。ここで、収差補正選択器２５は、選択した各収差の種類とそれらの収差係数を保持しておく。評価フェーズ（図２（ｂ））では、収差測定手段１８で測定された一括補正後の各収差係数、及び収差補正選択器２５が保持しておいた選択された各収差の種類とそれらの収差係数を元に、収差補正評価器２６が一括補正の効果を評価して価値関数テーブル２２を更新する。これら試行フェーズと評価フェーズを繰り返すことで価値関数テーブル２２が最適化されていき、一括補正対象判断・評価手段１９の判断精度が向上していく。

[0028] ここで、価値関数テーブル２２の詳細について説明する。図３は、価値関

数テーブル２２の構造を示す図である。価値関数テーブルとは、ある収差状態に対してどの収差を優先的に補正すべきかを数値化した表である。価値関数テーブル２２は、各収差係数を各々の補正目標値で規格化した値をＮ段階に階級化し、該階級化された値を並べてできるＮ進数の数値を１０進数に変換することで得られる数値を収差状態とし、この収差状態を行インデックスしたものである。なお、Ｎは、４～８程度とするのが望ましい。図３の例では、６つの収差係数（Ａ１，Ｂ２，Ａ２，Ｃ３，Ｓ３，Ａ３）を各々の補正目標値で規格化した値を５段階に階級化した、5^6に対応する１５６２５行の収差状態s_1～s_{15625}が記述されている。

[0029] 価値関数テーブル２２の更新（学習）は、図２（ｂ）で説明した評価フェーズにおいて計算される、ある収差状態ｓから特定の補正ａをおこなったときの効果を定量化した報酬ｒ（ｓ，ａ）を元に行われる。価値関数テーブル２２は収差係数の組み合わせを数値化した収差状態ｓを行インデックスとしていて、第s_i行目には収差状態s_iにおいてＡ１，Ｂ２，Ａ２，Ｃ３，Ｓ３，Ａ３を補正することで得られる報酬の推定値（価値Ｑと呼ぶ）Q_{A1-i}，Q_{B2-i}，Q_{A2-i}，Q_{C3-i}，Q_{S3-i}，Q_{A3-i}が記述してある。

[0030] 価値関数テーブル２２の初期値は、報酬の真値に近いと考えられるものを設定しておくか、全くランダムな値を設定するかの二通りが考えられる。前者は熟練者の経験を価値関数テーブルの初期値としてそれを学習により改善していく方法で、後者は経験がまったく無い場合に試行錯誤によって価値関数テーブルを最適化していく方法である。前者における価値関数テーブルの初期値の決め方として、ある収差状態においては相対的に大きい収差ほど誤差の少ない補正が行われるはずなので価値を高く設定しておき、異なる収差状態の間では各収差係数の総和が小さい状態で行われる補正ほど目標とする補正状態に到達する可能性が大きいために高い価値を持つように設定する方法が考えられる。

[0031] 以下、図４に示すフローチャートに基づき、本発明における学習機能付き自動収差補正プロセス（以下、自動補正プロセス）について説明する。自動

補正プロセスは、図２（ａ）で説明した試行フェーズ（図４のＳ１～Ｓ４）と図２（ｂ）で説明した評価フェーズ（図４のＳ５～Ｓ９）に大別される。試行フェーズでは、収差測定手段１８により現在の収差係数を測定し（Ｓ１）、状態関数により収差係数から収差状態を特定し（Ｓ２）、政策関数（Policy Function）により価値関数テーブル２２に基づいて補正する収差を確率的に複数選択し（Ｓ３）、収差補正手段２０により選択された収差を補正する（Ｓ４）。評価フェーズでは、収差測定手段１８により補正後の収差係数を測定し（Ｓ５）、補正後の収差状態を特定し（Ｓ７）、報酬関数により補正の効果を報酬として定量化する（Ｓ８）。そして、報酬を元にＱ学習により価値関数テーブルを更新することで学習結果を価値関数テーブル２２に反映させる（Ｓ９）。評価フェーズの途中では各収差が補正目標値以下であるかどうかがチェックされ（Ｓ６）、Ｙｅｓであれば収差補正のシーケンス、すなわち、収差の調整が終了する。各収差が目標値以下となるまで調整を繰り返すことにより、荷電粒子線装置固有の最適化された価値関数テーブルが得られる。一方、チェック結果がＮｏであれば補正前の収差係数と収差状態を、補正後の収差係数と収差状態にそれぞれ置き換えて（Ｓ１０）、１回の収差補正のシーケンスを終えた後、試行フェーズＳ３に戻り、次のシーケンスで同様の処理を繰り返す。

[0032] ここで、図２との関連を説明すると、図４のＳ２とＳ３は図２の収差補正選択器２５で実行され、図４のＳ６～Ｓ９は図２の収差補正評価器２６で実行される。

[0033] 以下、上述した状態関数、政策関数、報酬関数、Ｑ学習について詳細を説明する。

[0034] 図５は、状態関数による収差状態の数値化手順（図４のＳ２）の詳細を示したフローチャートである。状態関数は、収差測定手段１８が出力する収差係数の集合$C_t = \{A_{1t}, B_{2t}, A_{2t}, C_{3t}, S_{3t}, A_{3t}\}$を入力とし、各収差係数の絶対値をとったのちに（Ｓ２－１）。補正目標値で規格化する（Ｓ２－２）。補正目標値は、例えばＲａｙｌｅｉｇｈの４分の１波長則から

計算される。

[0035] 図６に、加速電圧２００ｋＶにおいて分解能７８ｐｍを目標とした場合と、加速電圧８０ｋＶにおいて分解能１３８ｐｍを目標とした場合の補正目標値を示す。

[0036] 続いて、規格化された値を例えば図７に示す判定基準に従って、５段階評価して０～４の数値に変換し（Ｓ２－３）、Ａ１，Ｂ２，Ａ２、Ｃ３，Ｓ３，Ａ３の順に並べて６桁の５進数にする（Ｓ２－４）。最後に、５進数から１０進数に変換することで（Ｓ２－５）、収差状態を表す１０進数の数値s_tを得る。

[0037] 例えば、得られた１０進数の数値s_tが１２８であったとして、図８の価値関数テーブル２２－１に、収差状態s_{128}を示す。

[0038] 図９は、政策関数による補正する収差の選択手順（図４のＳ３）の詳細を示したフローチャートである。政策関数は状態関数が出力する収差状態s_tを入力とし、価値関数テーブルのs_t行目を参照することで収差状態s_tにおいてＡ１，Ｂ２，Ａ２，Ｃ３、Ｓ３，Ａ３を補正する価値Q_{A1}，Q_{B2}，Q_{A2}，Q_{C3}，Q_{S3}，Q_{A3}を取得する（Ｓ３－１）。図８の価値関数テーブル２２－１の収差状態s_{128}では、価値が、Ａ１＝７，Ｂ２＝３．５，Ａ２＝０，Ｃ３＝１４，Ｓ３＝３．５，Ａ３＝１０．５となっている。そして、これらの価値の高さに応じて、各収差を選択する確率を算出する（Ｓ３－２）。選択確率の算出法として、例えば価値の高さをエネルギーとみなしたときの、次式（１）のボルツマン分布を各収差の選択確率p_iとする方法が考えられる（ボルツマン法）。

[0039] [数1]

$$p_i = \frac{\exp[Q_i/T]}{\sum_{j=\{A1,B2,A2,C3,S3,A3\}} \exp[Q_j/T]},\ i = A1,B2,A2,C3,S3,A3 \qquad (1)$$

[0040] ボルツマン分布の温度パラメータＴ（無次元量）により確率の分配が決まり、Ｔが大きいほど価値が小さい補正も選ばれやすくなる。但し、Ｔを大き

くすると様々な収差の組み合わせに対して補正を試行するようになる反面、価値関数テーブルの収束が遅くなる。補正する収差を確率的に選択するのは、価値関数テーブルが準最適な値（ローカルミニマム）落ち着いてしまうことを防ぐためである。各収差の選択確率が得られたら、乱数を使って補正する収差を１つ選択する（Ｓ３－３）。

[0041] 図１０は、乱数による収差選択の概念を示した図である。選択確率の総和は１であり、各収差の選択確率は０から１の間の数の直線上でその値に応じた幅を占有している。ここで、０以上１未満の実数が同じ確率で現れるような乱数ｖを発生させ、$0 \leqq v < v_1$ならばＡ１を、$v_1 \leqq v < v_2$ならばＢ２を、$v_2 \leqq v < v_3$ならばＡ２を、$v_3 \leqq v < v_4$ならばＣ３を、$v_4 \leqq v < v_5$ならばＳ３を、$v_5 \leqq v < 1$ならばＡ３を選択する。図１０の場合、$v_3 \leqq v < v_4$となる確率が最も高いので、Ｃ３が選択されやすい。この乱数による収差の選択プロセス（Ｓ３－３）を繰り返すことで、最大で３つの収差を選択する。但し、選択確率が５％以下のものは除外する（Ｓ３－４）。このように選択確率に下限を設けて１度に複数の収差を選択することで、１度に複数の収差を補正する効率の良い補正を試しつつ、学習の結果として効果がなかったものは選択されないようになる。このようにして、例えば、図８の価値関数テーブル２２－１の収差状態s_{128}では、Ａ１，Ｃ３，Ｓ３の３つの収差が選択される。補正する収差はリストＬに追加され（Ｓ３－５）、該リストＬは収差補正手段２０に渡されて収差補正が実行される（Ｓ－４）。

[0042] 収差補正は、収差補正手段２０が算出した制御量を元に制御手段２４が収差補正器６と対物レンズ９にフィードバックをかけることで行われるが、乱調（収差係数が目標値の上下に振れ動くこと）をさけるために制御量（フィードバック量）には１以下の減衰係数Ｋが掛けられる。ここでＫを、収差係数毎に測定誤差を考慮して、Ｋ＝１．０－（測定の相対誤差）とする。例えば、測定の相対誤差が２０％であれば、Ｋ＝０．８として収差係数の８０％分を補正する。減衰係数Ｋをこのように決めることで、測定値の信頼度に応じてフィードバック量を調整することが可能になり、Ｋを固定値とした場合

に比べて効率のよい補正が可能となる。すなわち、収差が大きいときには測定の相対誤差が小さくなるので、フィードバック量を多くすることで補正の回数が減り、収差が小さいときには測定の相対誤差が大きくなるので、フィードバック量を小さくすることで乱調を防ぐことができる。

[0043] 図１１は、報酬関数による補正結果の評価手順（図４のＳ８）の詳細を示したフローチャートである。報酬関数は収差補正前後の収差係数の集合C_t＝｛A_{1t}，B_{2t}，A_{2t}，C_{3t}，S_{3t}，A_{3t}｝、C_{t+1}＝｛A_{1t+1}，B_{2t+1}，A_{2t+1}，C_{3t+1}，S_{3t+1}，A_{3t+1}｝、及び、政策関数で出力された補正する（補正された）収差のリストＬを入力とする。

[0044] まず、C_t及びC_{t+1}の各要素について絶対値を取って（Ｓ８－１）補正目標値で規格化することで（Ｓ８－２）、補正前後の規格化された収差係数を得る、そして、補正前後の規格化された収差係数の差（補正前－補正後）に重み係数Ｗを掛けて報酬とする（Ｓ８－３）。これにより、各収差の報酬として、ｒ＝｛r_{A1}，r_{B2}，r_{A2}，r_{C3}，r_{S3}，r_{A3}｝が出力される。重み係数Ｗは、補正後の総合的な収差が小さいほど大きくする。例えば、図５のＳ２－３で５段階評価された値の総和をΣとし、Ｗ＝１／Σとする。以上のようにして決めた報酬は、補正の結果収差が減っていれば正、逆に増えていれば負となり、差が大きいほど報酬が大きく、また補正後の総合的な収差が小さいほど報酬が大きい。但し、補正されなかった収差（リストＬに要素のない収差）の報酬はゼロとする。

[0045] 図１２は、Ｑ学習による価値関数テーブル２２の更新手順（図４のＳ９）の詳細を示したフローチャートである。まず、価値関数テーブル２２のs_t行目、及びs_{t+1}行目を参照して、補正前後の収差状態s_t、及びs_{t+1}においてＡ１，Ｂ２，Ａ２，Ｃ３，Ｓ３，Ａ３を補正する価値Q_{A1}，Q_{B2}，Q_{A2}，Q_{C3}，Q_{S3}，Q_{A3}，及びQ'_{A1}，Q'_{B2}，Q'_{A2}，Q'_{C3}，Q'_{S3}，Q'_{A3}を取得する（Ｓ９－１，Ｓ９－２）。例えば、s_t行目をs_{128}（図８の価値関数テーブル２２－１）とし、s_{t+1}行目をs_{345}とする。これらの価値と報酬関数により計算された各収差の報酬r_iを使い、補正された収差に対する価値をＱ

学習により更新する（Ｓ９－３）。

[0046] Ｑ学習とは、強化学習における価値の更新法の一つで、次式（２）に従って価値を更新する。

[0047] [数2]

$$Q_i \leftarrow Q_i + a\{r_i - Q_i + \gamma \max_{j=\{A1,B2,A2,C3,S3,A3\}}[Q'_j]\},\ i \in L \qquad (2)$$

[0048] ここでαは学習率（０<α≦１）、γは割引率（0≦γ≦１）である。αは現在の価値と行動によって得られた結果のどちらを重視するかを表している。αが１に近いほど得られた結果を重視するようになり、価値の変化は大きくなる。逆にαを０に近づけると現在の価値を重視するようになり、価値の変化は小さくなる。一方、γは現在の報酬と将来の報酬のどちらを重視するかを表している。γが０に近いほど現在の報酬を重視し、１に近いほど将来の報酬を重視するようになる。本発明では、Ｑ学習において標準的な値とされるα=０．１、γ=０．９とした。Ｑ学習により更新された収差状態s_tにおける価値を価値関数テーブルのs_t行目に反映することで、学習結果が記録される（Ｓ９－４）。

[0049] 例えば、図８に示した価値関数テーブル２２－１に基づいて補正された収差状態s_{128}の収差に対する学習結果として、更新された価値関数テーブル２２－２では、効果の大きかった収差係数Ｃ３に関する価値が１４から２１に大幅に増大し、効果の小さかった収差係数Ａ１に関する価値が７から９に若干増加し、逆効果が認められた収差係数Ａ３に関する価値が１０．５から４に大幅減少している。

[0050] このようにして、収差状態s_{128}に関する収差補正のシーケンスを終えた後、収差状態をs_{t+1}、上記の例ではs_{345}、で置き換えた後（図４のＳ１０）、試行フェーズ（図４のＳ３）に戻り、次の収差状態s_{345}に関するシーケンスで収差状態s_{128}の場合と同様の処理を繰り返す。

[0051] 以上説明した自動調整プロセスにより、収差補正器の調整と同時に価値関数テーブル２２の学習が進行し、調整を繰り返すほど効果的な収差補正が選択されるようになる。

[0052] なお、仕様を同じくする荷電粒子線装置では、通常、初期値が同じ価値関数テーブル（マスターテーブル）がセットされる。本実施例によれば、各荷電粒子線装置の個体差を反映しマスターテーブルを学習により更新することで、各荷電粒子線装置の個体差を反映した最適な調整手順を与える、固有の価値関数テーブルとなる。

[0053] 図１３は、入出力手段１５の、自動収差補正ＧＵＩの画面１５０の一例を示した図である。自動収差補正ＧＵＩの画面１５０は、調整を開始する調整開始ボタン２８、調整を停止する調整停止ボタン２９、調整を一時停止する一時停止ボタン３０、調整の進捗を示す理論分解能グラフの表示部３１、各収差係数の傾向を示す収差トレンドの表示部３２、ロンチグラム観察手段１６で取得されたロンチグラムの表示部３３等で構成される。理論分解能グラフの表示部３１では、横軸にシーケンス番号３６、縦軸に分解能をとり、各収差の収差係数から計算した理論分解能ライン３４と目標分解能ライン３５が表示され、補正がどの程度進んでいるのかが視覚化される。理論分解能ライン３４が目標分解能ライン３５以下となるまで収差補正が繰り返し実行される。収差トレンドの表示部３２は、過去数回分の補正の傾向を収差係数毎に視覚化したものである。収差係数が複素数で表される寄生収差（Ａ１、Ｂ２、Ａ２、Ｓ３、Ａ３）については、複素平面上に収差係数をプロットして線で結んでいくことで（３７～４１）、各収差の大きさだけでなく方向についても視覚化され、各収差の補正が正しい方向に進んでいるかどうかが明確になる。このとき、プロットを結ぶ線の色を、現在のものから過去のものに向かって徐々に薄くしていく、あるいは線の太さを徐々に細くしていくことで、線が複雑に交差したプロットでも補正の過程が見やすくなる。また、ロンチグラムの表示部３３では、ロンチグラムの中央に見られるコントラストが一様なフラット領域が目標フラット領域ライン４３まで拡がっているかどうかを見ることで、補正の程度を判断できる。ユーザは、収差補正の進捗状況やロンチグラムの状態に応じて、ＧＵＩ画面１５０の調整停止ボタン２９や一時停止ボタン３０を操作し、それに伴って表示される新たなＧＵＩ画面

に対して必要な操作を行うことができる。

[0054] 図１４は、入出力手段１５の画像表示部における学習情報ＧＵＩの画面１５１の一例を示した図である。学習情報ＧＵＩの画面１５１は、学習パラメータを設定するパラメータパネル４４、学習の統計情報を表示する統計パネル４５、価値関数テーブルを視覚化した価値関数テーブルパネル４６で構成される。パラメータパネル４４は、図１２のフローチャートで述べたＱ学習における学習率αと割引率γを設定するテキストボックス４７と４８、図９のＳ３－２で述べた選択確率の算出法としてボルツマン法を用いる場合の温度パラメータＴを設定するテキストボックス４９で構成される。統計パネル４５は、学習の合計回数を表示する合計学習回数ラベル５０、訪れた収差状態の数を表示する訪問状態数ラベル５１、合計学習回数を訪問状態数で割った学習回数の平均値を表示する平均学習回数ラベル５２で構成される。価値関数テーブルパネル４６には、各収差状態s_iに関して、訪問された収差状態に対する価値の大きさが、グレースケールなどの色階調で表現される。これにより、ユーザは、学習がどの程度進んでいるのかを把握することができる。

[0055] 本実施形態によれば、自動収差補正装置が自律的に学習した価値関数テーブルの値に従って一度に複数の収差の補正を行うことかできる。なお、本実施形態は、より高次の収差を含む収差補正にも同様に適用可能である。

[0056] 本実施形態によれば、収差補正を複数同時に実施可能な、最適な調整手順を強化学習により獲得することで、荷電粒子線装置の個体差を反映した調整時間の短い自動収差補正が可能となる。また、自動収差補正装置が自律的に最適な調整手順を学習により獲得するので、ユーザは熟練した調整者でなくても適切な収差補正を行うことができる。

実施例 2

[0057] 本発明の第二の実施形態になる荷電粒子線装置の例を、図１５を参照しながら説明する。

[0058] 本発明においては、補正前後の収差係数から計算される報酬を元に価値関

数テーブルが更新されるため、収差測定の正確性が重要になる。そこで、収差係数の測定履歴を記録しておき、収差測定のばらつきがある指定値以上あるときには、収差補正をしない方法も考えられる。

[0059] 図１５は、収差係数の測定のばらつきを考慮した収差補正の手順を示すフローチャートである。以下では、第一の実施形態との相違点についてのみ述べる。記憶装置２１には、収差係数の測定履歴を記録する測定履歴テーブル（図示略）が保存されている。収差補正手段２０は、収差測定手段１８が出力した各収差係数を測定履歴テーブルに追加し（Ｓ４－１）、測定履歴テーブルのデータから標準偏差を計算する（Ｓ４－２）。標準偏差が指定された値よりも大きければ（Ｓ４－３）、収差補正は行われないが、小さければ収差補正を実行し（Ｓ４－４）、測定履歴テーブルをクリアする（Ｓ４－５）。尚、測定履歴と標準偏差の計算は、収差係数の大きさと方向を別々にしてもよい。

[0060] 本実施形態によれば、測定履歴を考慮し、正確性の高い収差測定に基づいて、収差補正を複数同時に実施可能な最適な調整手順を強化学習により獲得することにより、調整時間の短い自動収差補正が可能となる。また、自動収差補正装置が自律的に最適な調整手順を学習により獲得するので、荷電粒子線装置のユーザは熟練した調整者でなくても良い。

実施例 3

[0061] 本発明の第三の実施形態になる荷電粒子線装置の例を、図１６、図１７を参照しながら説明する。

[0062] 収差補正の結果として負の報酬しか得られなかった場合、補正を行う前の状態に戻って収差補正の選択をやり直す方法が考えられる。補正を行う前の状態に戻るためには、制御手段２４の制御量の履歴すなわち補正の履歴を記録しておき、指示があったら記録しておいた制御量に復帰するアンドゥ機能が必要になる。

[0063] 以下では、第一の実施形態との相違点についてのみ述べる。図１６は、ヒストリーＧＵＩの画面１５２の一例を示した図である。図１７は、アンドゥ

機能を実現するための自動収差補正装置１７の構成図である。自動収差補正装置１７は、制御手段２４の制御量を記録する制御量記録手段２７を備えている。

[0064] ヒストリーＧＵＩの画面１５２において、ヒストリー項目５３にはシーケンス番号５４、補正された収差５５、補正直前の理論分解能５６が表示される。シーケンス番号５４は、図１３の自動収差補正ＧＵＩの画面１５０のシーケンス番号３６に対応する。この例では、シーケンス毎に２つあるいは３つの収差が同時に補正され、それに伴い理論分解能５６の値も変化している。また、シーケンス番号９で行われたＣ３とＳ３の補正を行う前の理論分解能５６の値が最も良い。

[0065] 図１７の（ａ）は記録フェーズで、収差測定手段１８が収差測定を行った際に（図４のＳ－１、Ｓ－５）制御量記録手段２７に対して制御手段２４の制御量を記録するように指示する。図１７の（ｂ）は復帰フェーズで、一括補正対象判断・評価手段１９で各収差係数の報酬を計算した際に（図４のＳ－８）、選ばれた収差補正の報酬が全て負であった場合は制御量記録手段２７に対して制御手段２４の制御量を記録しておいた値に復帰するように指示する。続いて行われる価値関数テーブルの更新では（図４のＳ－９）、選ばれた収差補正の価値は（報酬が負であったので）減少するため、図４のＳ－３に戻って収差補正の選択をやり直す際には別の収差補正が選択されやすくなる。

[0066] また、制御量記録手段２７が記録する制御量を過去に渡って保存しておくことで（補正の履歴）、任意時点の状態の制御量に復帰するヒストリー機能が実現できる。また、保存された制御量をファイルに書き出し、書き出されたファイルを読み込んで復帰できるようにすることも考えられる。

[0067] ユーザが、画面１５２のヒストリー項目をマウスでダブルクリックすると、制御量記録手段２７が制御手段２４の制御量をその時点の値に復帰させることで状態を復元する。例えば、図１６のシーケンス番号９のヒストリー項目をダブルクリックするなどして選択すると、シーケンス番号９で行われた

Ｃ３とＳ３の補正を行う前の理論分解能９０ｐｍの状態に復元する。収差の補正が行われる度にヒストリー項目は増えていき、最新のヒストリー項目がヒストリーＧＵＩの画面１５２の一番下に表示されるので、表示しきれないものはスクロールバー５７を使って参照する。

[0068] なお、以上説明したアンドゥ、ヒストリーは、ヒステリシス特性が顕著になるほど電磁レンズの状態を大きく変化させてしまうと完全には機能しない。しかし、通常の調整過程においては電磁レンズの状態を一度に大きく変えることはないので、一歩手前の状態に戻るアンドゥは問題なく機能する。ヒストリー機能による状態の復元度はどのくらい過去の状態に戻るかにも依存するが、調整過程の大部分を占める寄生収差の補正にはヒステリシス特性のない空芯の偏向コイルが用いられることが多いため、実用上の問題は少ない。

[0069] 本実施形態によれば、収差補正を複数同時に実施可能な、最適な調整手順を強化学習により獲得することにより、調整時間の短い自動収差補正が可能となる。また、自動収差補正装置が自律的に最適な調整手順を学習により獲得するので、ユーザは熟練した調整者でなくても適切な収差補正を行うことができる。

実施例 4

[0070] 本発明の第四の実施形態になる荷電粒子線装置の例を、図１８Ａ、図１８Ｂを参照しながら説明する。

本発明では、最適な価値関数テーブルを自律的な学習により最適化していくが、調整の過程で、状況に応じてユーザ（調整者）が価値関数テーブルの値を教示してもよい。

[0071] 図１８Ａは、補正前の試行フェーズにおける、入出力手段１５と、一括補正対象判断・評価手段１９及び価値関数テーブル２２の相互作用を示したものである。第一の実施形態と異なり、第四の実施形態では、一括補正対象判断・評価手段１９は、教示・修正器１５５を備えている。また、入出力手段１５は、教示ＧＵＩ機能を有している。試行フェーズにおいて、収差測定手

段１８で測定された補正前の各収差係数と価値関数テーブル２２を元に、収差補正選択器２５が一括補正する収差を複数選択し、入出力手段１５の画面１５３に表示する。ユーザ（調整者）は、必要に応じて、教示ＧＵＩで価値関数テーブルの値を教示し、この結果は教示・修正器１５５を経て収差補正選択器２５に入力される。一括補正対象判断・評価手段１９は、教示・修正されたデータに基づいて、収差補正手段２０に一括補正の指示を出す。

[0072] 図１８Ｂは、教示ＧＵＩの画面１５３の一例を示した図である。教示ＧＵＩの画面１５３が表示されているときは、採用ボタン６１が押されるまで、図４のＳ４の補正は行われない。価値テキストボックス５８と価値バー５９には図９のＳ３－１で取得された価値Q_iの値が反映され、図９のＳ３－２で選択された収差には○印６０が付けられる。選択された収差が望ましいものであれば、調整者が採用ボタン６１を押すことで図４のＳ４以下の処理が継続される。選択された収差が望ましいものでなければ、価値テキストボックス５８に所望の値を代入し再試行ボタン６２を押すことで、修正された価値に基づいて図９のＳ３－２、Ｓ３－３に示したプロセスにより補正する収差が再選択される。

[0073] 本実施形態によれば、収差補正を複数同時に実施可能な最適な調整手順を強化学習とユーザ（調整者）の経験とによって獲得することにより、調整時間の短い自動収差補正が可能となる。

[0074] 以上、走査型透過電子顕微鏡を例に本発明の各実施の形態を説明したが、本発明は収差の測定方法と補正方法に関しては何も制約がないので、他の荷電粒子線装置、例えば透過型電子顕微鏡、走査型電子顕微鏡、集束イオンビーム装置などの収差補正器への応用も可能である。

[0075] このように、本発明によれば、過去の調整で効果のあった収差補正を複数同時に実施することで、調整時間の短い自動収差補正が可能となる。

符号の説明

[0076] １…電子線源

２…電子線

３、４…収束レンズ

５…調整レンズ

６…収差補正器

７…転写レンズ

８…スキャンコイル

９…対物レンズ

１０…試料

１１…結像レンズ

１２…暗視野像検出器

１３…カメラ

１４…暗視野像観察手段

１５…入出力手段

１６…ロンチグラム観察手段

１７…自動収差補正装置

１８…収差測定手段

１９…一括補正対象判断・評価手段

２０…収差補正手段

２１…記憶装置

２２…価値関数テーブル

２３…変換係数テーブル

２４…制御手段

２５…収差補正選択器

２６…収差補正評価器

２７…制御量記録手段

２８…調整開始ボタン

２９…調整停止ボタン

３０…一時停止ボタン

３１…理論分解能グラフの表示部

３２…収差トレンドの表示部

３３…ロンチグラムの表示部

３４…理論分解能ライン

３５…目標分解能ライン

３６…シーケンス番号

３７…Ａ１トレンド

３８…Ｂ２トレンド

３９…Ａ２トレンド

４０…Ｓ３トレンド

４１…Ａ３トレンド

４２…Ｃ３トレンド

４３…目標フラット領域ライン

４４…パラメータパネル

４５…統計パネル

４６…価値関数テーブルパネル

４７…学習率α設定テキストボックス

４８…割引率γ設定テキストボックス

４９…温度パラメータＴ設定テキストボックス

５０…合計学習回数ラベル

５１…訪問状態数ラベル

５２…平均学習回数ラベル

５３…ヒストリー項目

５４…シーケンス番号（シーケンス番号３６と対応）

５５…補正された収差

５６…理論分解能

５７…スクロールバー

５８…価値テキストボックス

５９…価値バー

６０…選択された印

６１…採用ボタン

６２…再試行ボタン

１５０…自動収差補正ＧＵＩの画面

１５１…学習情報ＧＵＩの画面

１５２…ヒストリーＧＵＩの画面

１５３…教示ＧＵＩの画面。

請求の範囲

[請求項1] 荷電粒子線源と、

前記荷電粒子線源から放出された荷電粒子を荷電粒子線として試料に対して照射する荷電粒子光学系と、

前記荷電粒子光学系の収差を補正する収差補正器と、

前記荷電粒子光学系と前記収差補正器の各構成要素を制御する制御手段とを備えた荷電粒子線装置において、

自律的に最適な調整手順を学習により獲得する自動収差補正装置を備える

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項2] 荷電粒子線源と、

前記荷電粒子線源から放出された荷電粒子を荷電粒子線として試料に対して照射する荷電粒子光学系と、

前記荷電粒子光学系の収差を補正する収差補正器と、

前記荷電粒子光学系と前記収差補正器との各構成要素を制御する制御手段と、

前記荷電粒子光学系の複数の収差係数を測定する前記収差測定手段と、

前記測定された複数の収差係数のうち、どの収差を補正するかを示す値を保持する価値関数テーブルが保存された記憶装置と、

前記測定された収差係数と前記価値関数テーブルとの値に基づいて、複数の収差の補正を判断する補正対象判断手段と、

前記補正対象判断手段で前記補正の判断がされた前記複数の収差を補正する収差補正手段と、を有する

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項3] 請求項２において、

前記補正対象判断手段は、

前記収差測定手段により測定された収差補正前後の収差係数から該

収差補正の効果を報酬として定量化し、

該報酬に基づいて前記価値関数テーブルの前記値を更新する

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項4] 請求項２において、

前記価値関数テーブルは、

各収差係数を各々の補正目標値で規格化した値をＮ段階に階級化し、

該階級化された値を並べてできるＮ進数の数値を１０進数に変換することで得られる数値を収差状態とし、

該収差状態を行インデックスとしたものである

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項5] 請求項４において、

前記価値関数テーブルは、

初期値として、

ある行の前記収差状態においては、相対的に大きい収差ほど高い値を持ち、

異なる収差状態の間では、各収差係数の総和が小さい収差状態ほど高い値を持つように設定される

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項6] 請求項２において、

前記補正対象判断手段は、

前記価値関数テーブルに応じた選択確率に従って１つ乃至複数の収差の補正を判断する

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項7] 請求項３において、

前記報酬は

補正後の総合的な収差が小さいほど大きい重み係数をＷとして

Ｗ×（（補正前の収差係数）－（補正後の収差係数））とする

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項8] 請求項７において、

前記重み係数は

各収差係数を各々の補正目標値で規格化した値をＮ段階に階級化し、

該階級化された値の総和の逆数とする

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項9] 請求項２において、

前記収差補正手段は、

前記記憶装置に保存された変換係数テーブルを参照することで補正する収差の収差係数から補正制御量に変換し、

該補正制御量に減衰係数Ｋを掛けて前記制御手段にフィードバックすることで前記収差を補正する

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項10] 請求項９において、

前記減衰係数Ｋは、

１．０－（収差係数の相対誤差）とする

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項11] 請求項２において、

前記制御手段の制御量を記録する制御量記録手段を備え、

前記制御量記録手段は、前記収差補正手段が収差を補正する前の前記制御手段の制御量を記録し、

前記補正対象判断手段が算出する前記報酬が全て負の場合には該記録された制御量を前記制御手段に復帰させることで補正前の状態に戻る

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項12] 請求項２において、

前記収差補正手段は、

前記収差測定手段により測定された収差係数を測定履歴として記録し、

該測定履歴から該収差係数の標準偏差を算出し、

該標準偏差が事前に設定された閾値以下となるまで前記収差の補正を制限する

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項13] 請求項１１において、

前記制御量記録手段は、

記録された前記制御手段の制御量を履歴として保存しておき、任意の時点の制御量を前記制御手段に復帰させることで任意の時点の状態に戻る

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項14] 請求項１１において、

前記制御量記録手段は、

記録された前記制御手段の制御量を外部記憶装置にファイルとして書き出し、該書き出されたファイルを読み込んで前記制御手段の制御量を復帰する

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項15] 請求項２において、

前記自動収差補正装置は、画像表示手段を備え、

前記画像表示手段に前記補正の進捗を表示する

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項16] 請求項１５において、

前記補正の進捗は、複素数で表される収差係数を複素平面上にプロットするものである

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項17] 請求項１５において、

前記制御手段の制御量の履歴を記録する制御量記録手段を備えてお

り、

前記画像表示手段に、前記制御量記録手段の情報に基づき、前記補正の履歴を表示し、

該表示された履歴の一項目に対する指定を受けて、該履歴に該一項目が追加された時点の前記制御量の状態に戻る

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項18] 請求項１５記載において、

前記画像表示手段に、前記価値関数テーブルの値と該価値関数テーブルの値を基に選択された収差を表示し、前記価値関数テーブルの修正を対話的に行えるようにした

ことを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項19] 荷電粒子線源と、

前記荷電粒子線源から放出された荷電粒子を荷電粒子線として試料に対して照射する荷電粒子光学系と、

前記荷電粒子光学系の収差補正の測定結果に基づき、実施した補正手順を評価する評価部と、

前記評価に基づき、他の補正手順よりも高い評価を得た補正手順を選択する選択部と、

前記選択された補正手順を実行する収差補正器と、

を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

[請求項20] 荷電粒子線源と、

前記荷電粒子線源から放出された荷電粒子を荷電粒子線として試料に対して照射する荷電粒子光学系と、

前記荷電粒子光学系の収差補正の測定結果に基づき、実施した補正手順を評価する評価

部と、

前記評価に基づき、補正手順を定めるテーブルの値を変更するテーブル変換部と、

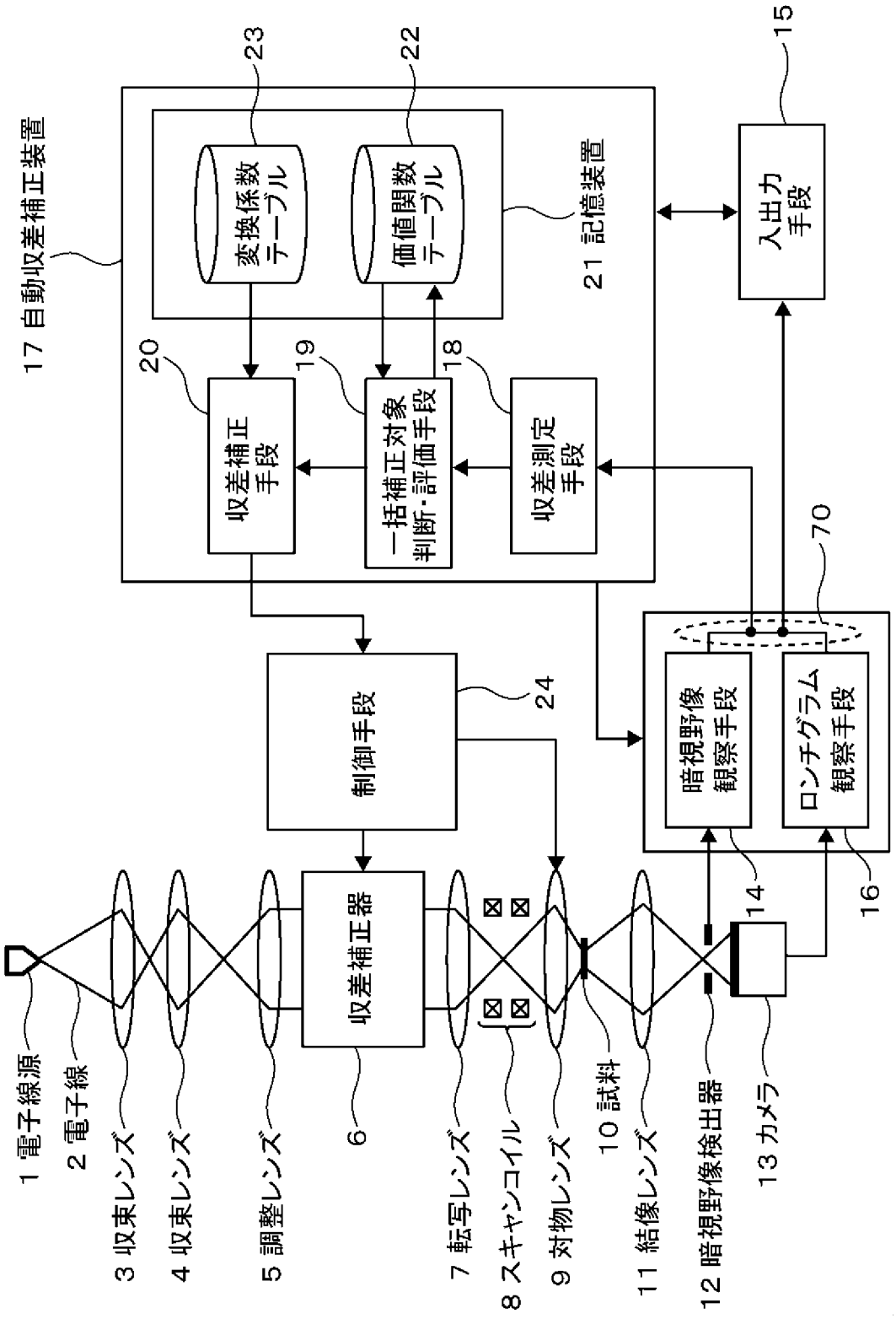
前記テーブルに基づき定められた補正手順を実行する収差補正器と

、

を有することを特徴とする荷電粒子線装置。

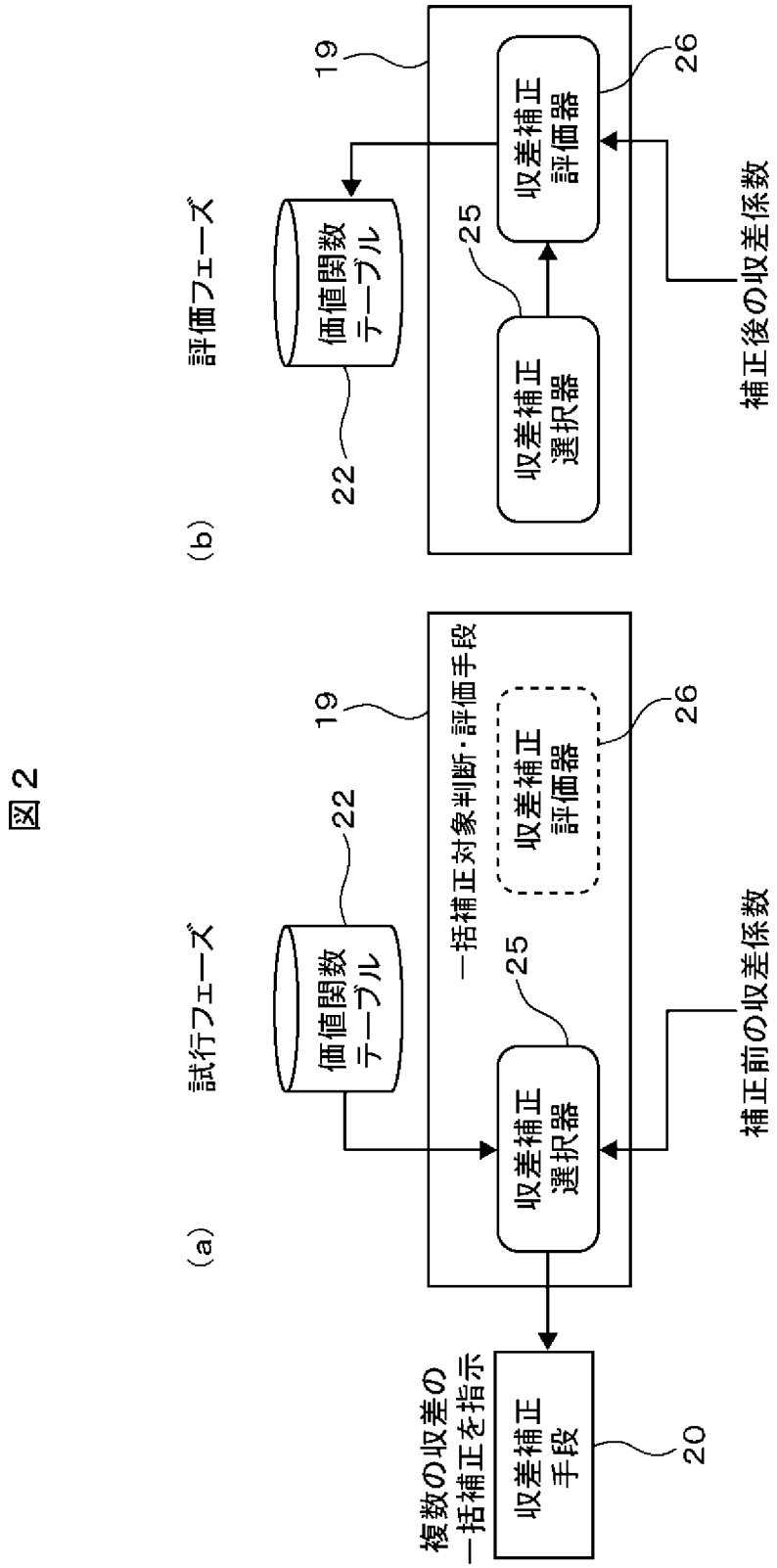
[図1]

図１


17 自動収差補正装置
23
22
15
変換係数テーブル
価値関数テーブル
21 記憶装置
入出力手段
20
19
18
収差補正手段
一括補正対象判断・評価手段
収差測定手段
70
制御手段
24
暗視野像観察手段
ロンチグラム観察手段
14
16
収差補正器
6
1 電子線源
2 電子線
3 収束レンズ
4 収束レンズ
5 調整レンズ
7 転写レンズ
8 スキャンコイル
9 対物レンズ
10 試料
11 結像レンズ
12 暗視野像検出器
13 カメラ

[図2]

図２


（a）
試行フェーズ
価値関数テーブル
22
19
一括補正対象判断・評価手段
収差補正評価器
26
収差補正選択器
25
補正前の収差係数
複数の収差の一括補正を指示
収差補正手段
20
（b）
評価フェーズ
価値関数テーブル
22
19
収差補正評価器
26
収差補正選択器
25
補正後の収差係数

[図3]

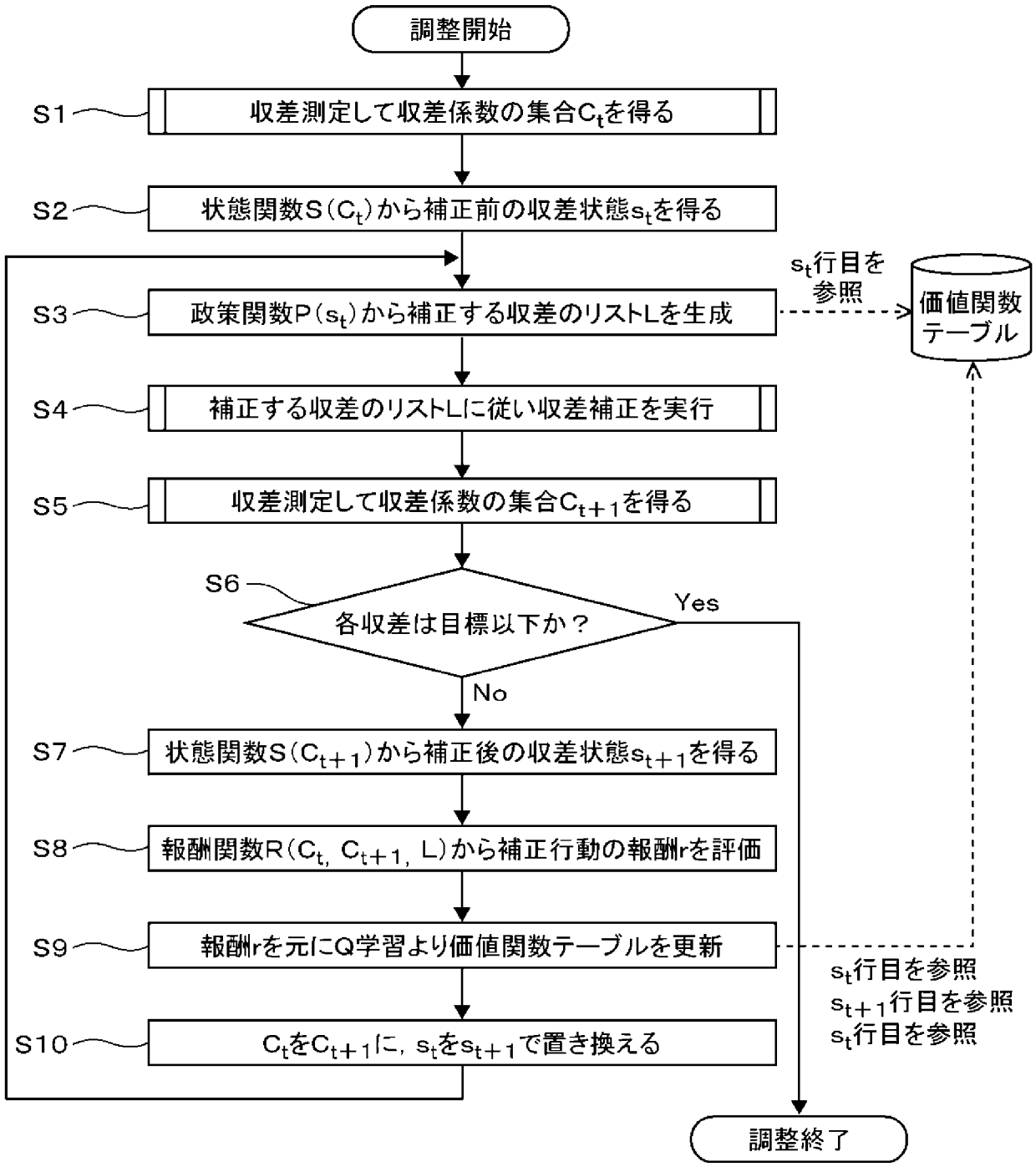
図3

22

S_1	Q_{A1-1}	Q_{B2-1}	Q_{A2-1}	Q_{C3-1}	Q_{S3-1}	Q_{A3-1}
S_2	Q_{A1-2}	Q_{B2-2}	Q_{A2-2}	Q_{C3-2}	Q_{S3-2}	Q_{A3-2}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
S_{15625}	$Q_{A1-15625}$	$Q_{B2-15625}$	$Q_{A2-15625}$	$Q_{C3-15625}$	$Q_{S3-15625}$	$Q_{A3-15625}$

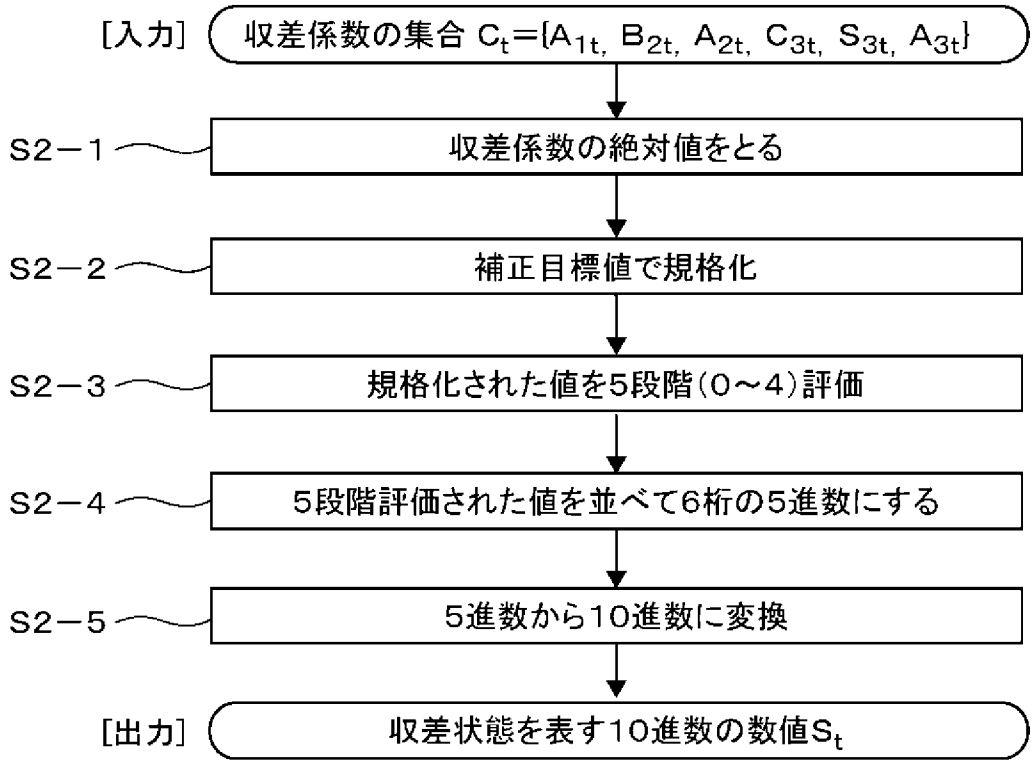
[図4]

図４


調整開始
S1
収差測定して収差係数の集合C_tを得る
S2
状態関数S(C_t)から補正前の収差状態s_tを得る
s_t行目を参照
価値関数テーブル
S3
政策関数P(s_t)から補正する収差のリストLを生成
S4
補正する収差のリストLに従い収差補正を実行
S5
収差測定して収差係数の集合C_{t+1}を得る
S6
各収差は目標以下か？
Yes
No
S7
状態関数S(C_{t+1})から補正後の収差状態s_{t+1}を得る
S8
報酬関数R(C_t, C_{t+1}, L)から補正行動の報酬rを評価
S9
報酬rを元にQ学習より価値関数テーブルを更新
s_t行目を参照
s_{t+1}行目を参照
s_t行目を参照
S10
C_tをC_{t+1}に，s_tをs_{t+1}で置き換える
調整終了

[図5]

図５



[図6]

図６

	A1/nm	B2/nm	A2/nm	C3/μm	S3/μm	A3/μm
78pm@200kV	1.121	18.85	56.55	2.344	0.586	2.344
138pm@80kV	2.279	37.65	113	4.975	1.244	4.975

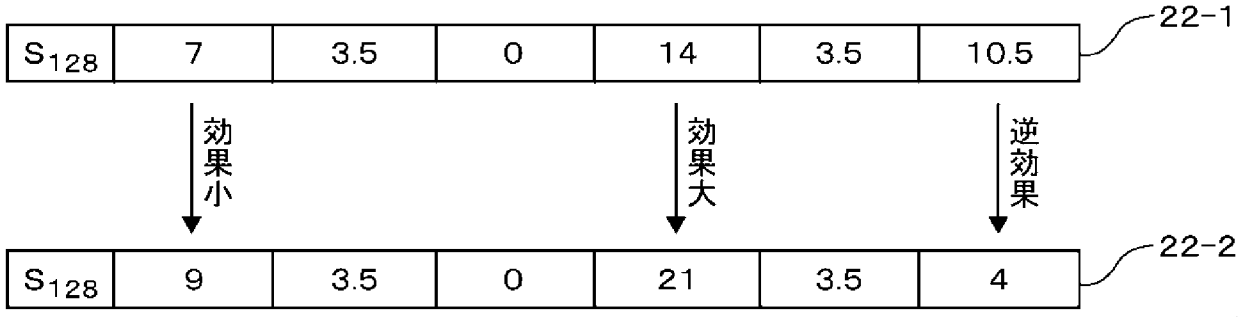
[図7]

図７

	A1	B2	A2	C3	S3	A3
0	≦1	≦1	≦1	≦1	≦1	≦1
1	1～10	1～10	1～10	1～5	1～5	1～5
2	10～20	10～20	10～20	5～10	5～10	5～10
3	20～30	20～30	20～30	10～15	10～15	10～15
4	30≦	30≦	30≦	15≦	15≦	15≦

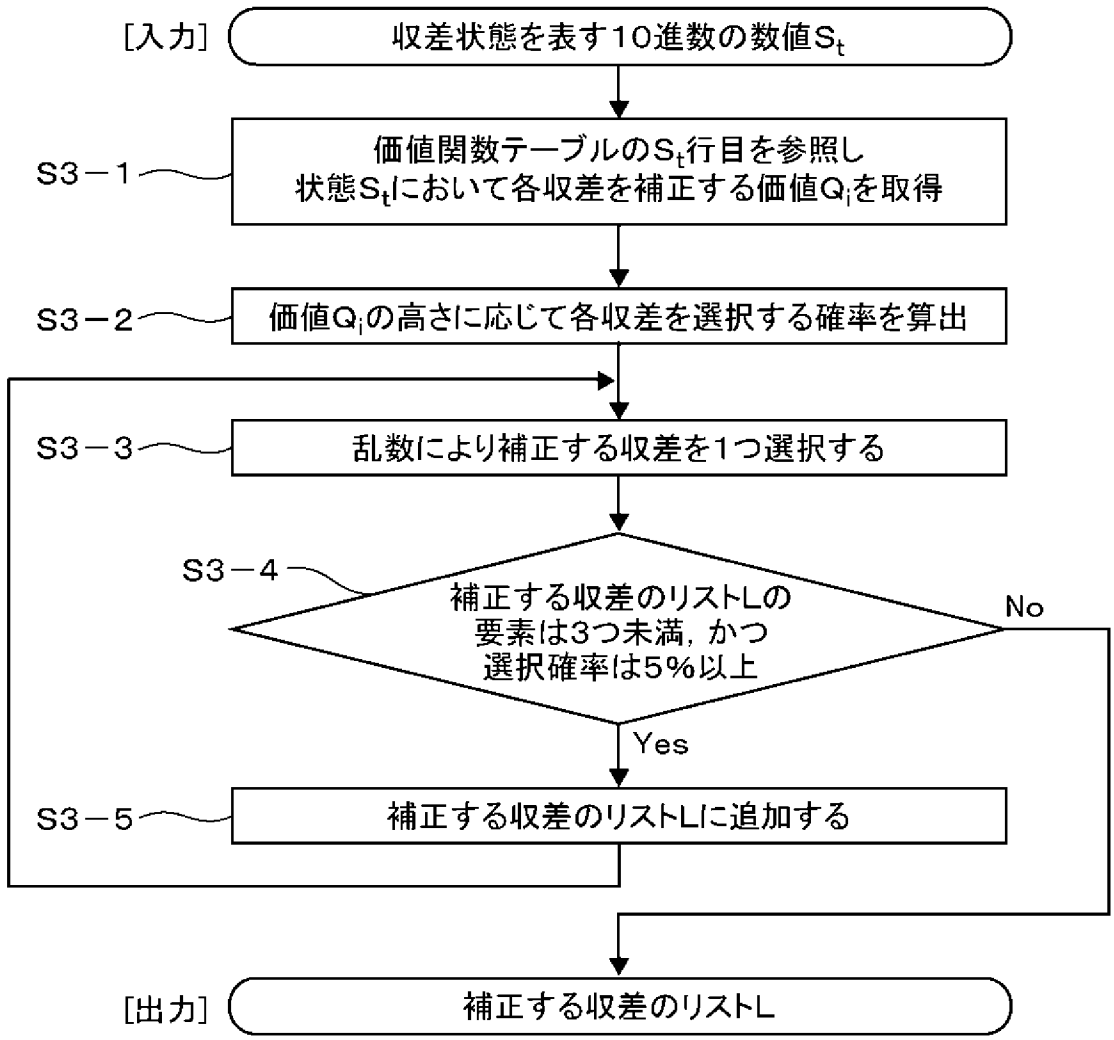
[図8]

図８


22-1
S128
7
3.5
0
14
3.5
10.5
効果小
効果大
逆効果
22-2
S128
9
3.5
0
21
3.5
4

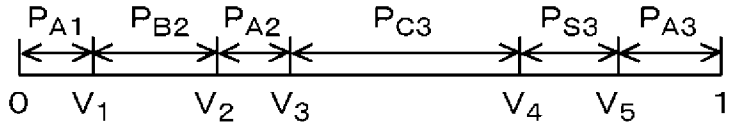
[図9]

図９


[入力]
収差状態を表す10進数の数値St
S3－1
価値関数テーブルのSt行目を参照し
状態Stにおいて各収差を補正する価値Qiを取得
S3－2
価値Qiの高さに応じて各収差を選択する確率を算出
S3－3
乱数により補正する収差を1つ選択する
S3－4
補正する収差のリストLの
要素は3つ未満，かつ
選択確率は5%以上
No
Yes
S3－5
補正する収差のリストLに追加する
[出力]
補正する収差のリストL

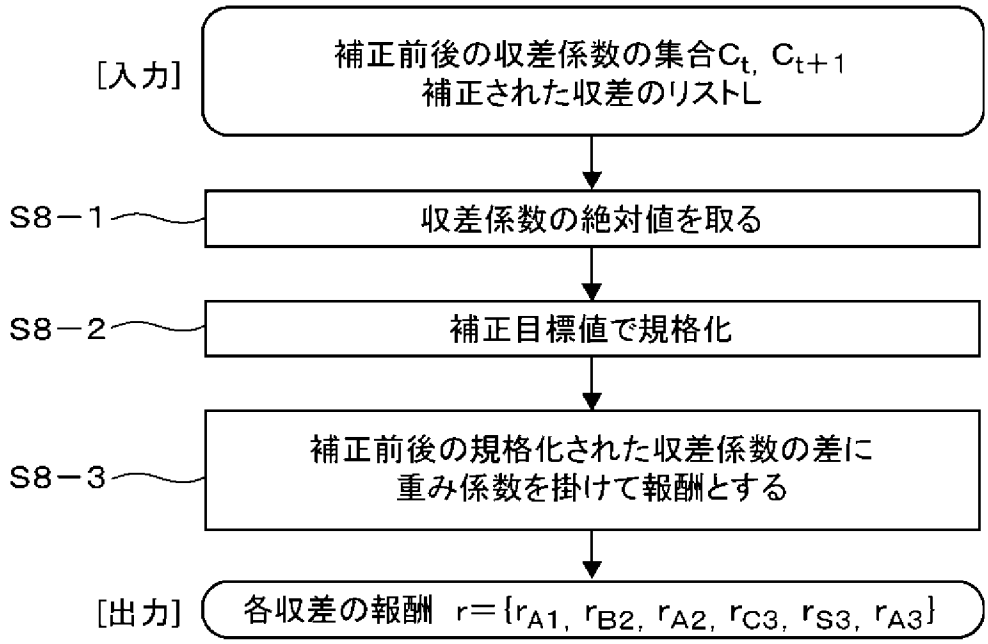
[図10]

図１０



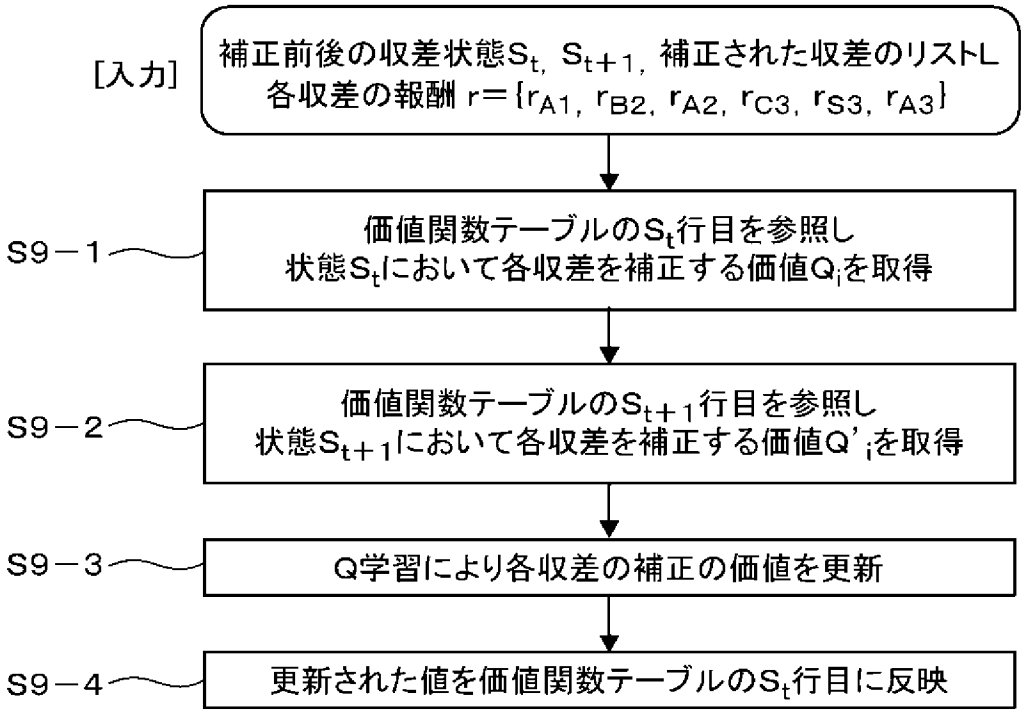
[図11]

図１１



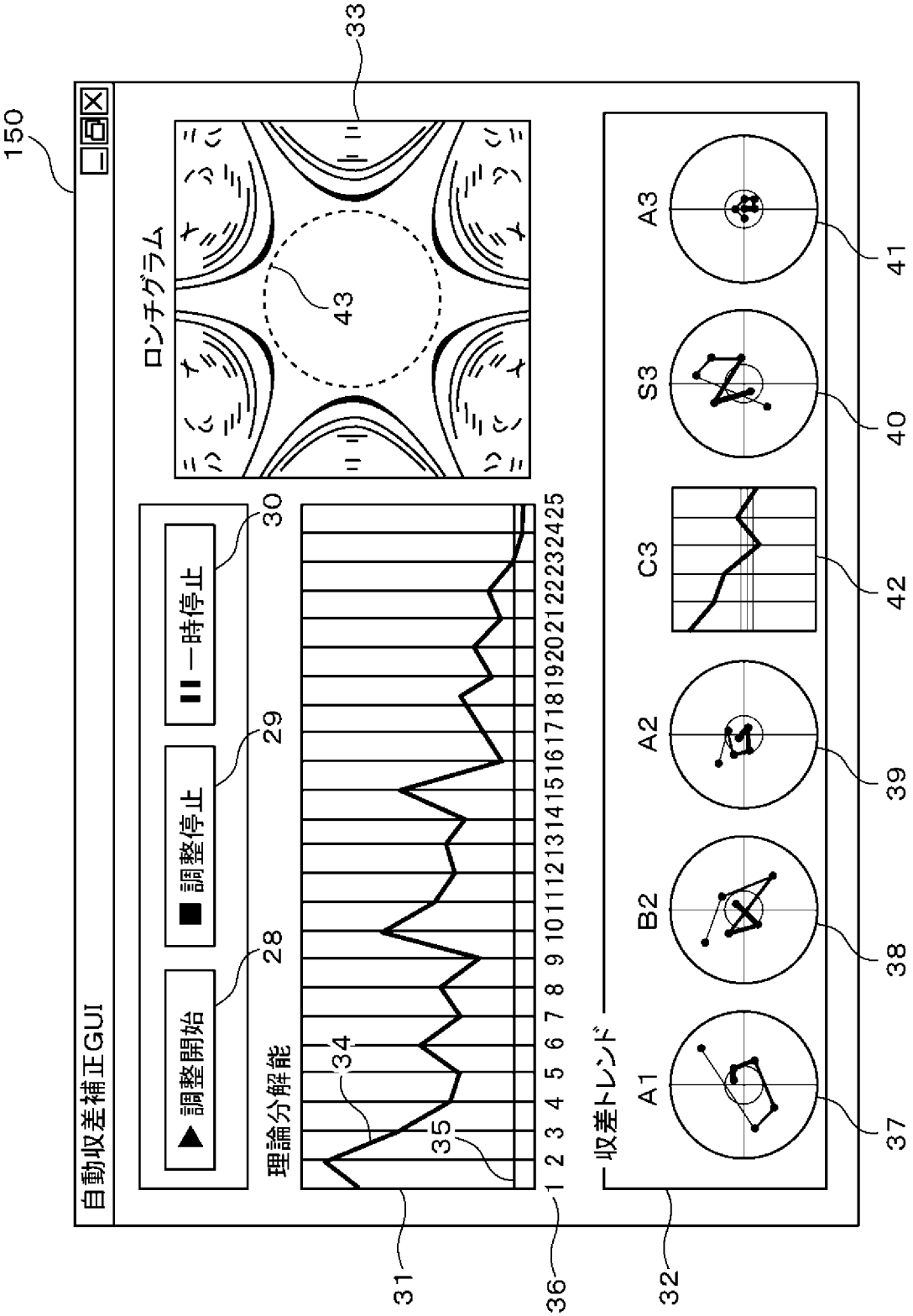
[図12]

図１２


[入力]
補正前後の収差状態S_t, S_{t+1}, 補正された収差のリストL
各収差の報酬 $r=\{r_{A1}, r_{B2}, r_{A2}, r_{C3}, r_{S3}, r_{A3}\}$
S9－1
価値関数テーブルのS_t行目を参照し
状態S_tにおいて各収差を補正する価値Q_iを取得
S9－2
価値関数テーブルのS_{t+1}行目を参照し
状態S_{t+1}において各収差を補正する価値Q'_iを取得
S9－3
Q学習により各収差の補正の価値を更新
S9－4
更新された値を価値関数テーブルのS_t行目に反映

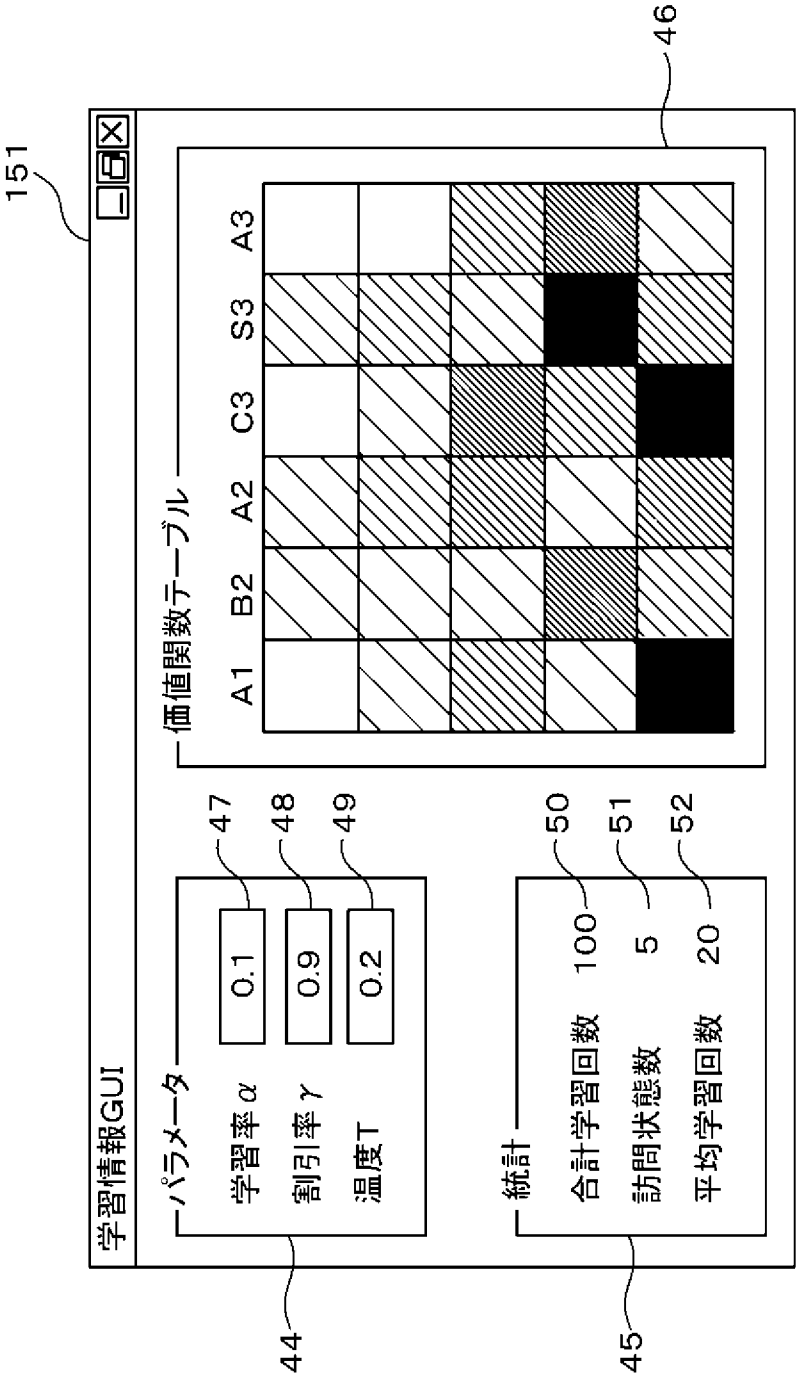
[図13]

図１３


150
自動収差補正GUI
ロンチグラム
33
43
▲調整開始
■調整停止
❚❚一時停止
28
29
30
理論分解能
34
35
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25
31
36
収差トレンド
A1
B2
A2
C3
S3
A3
32
37
38
39
40
41
42

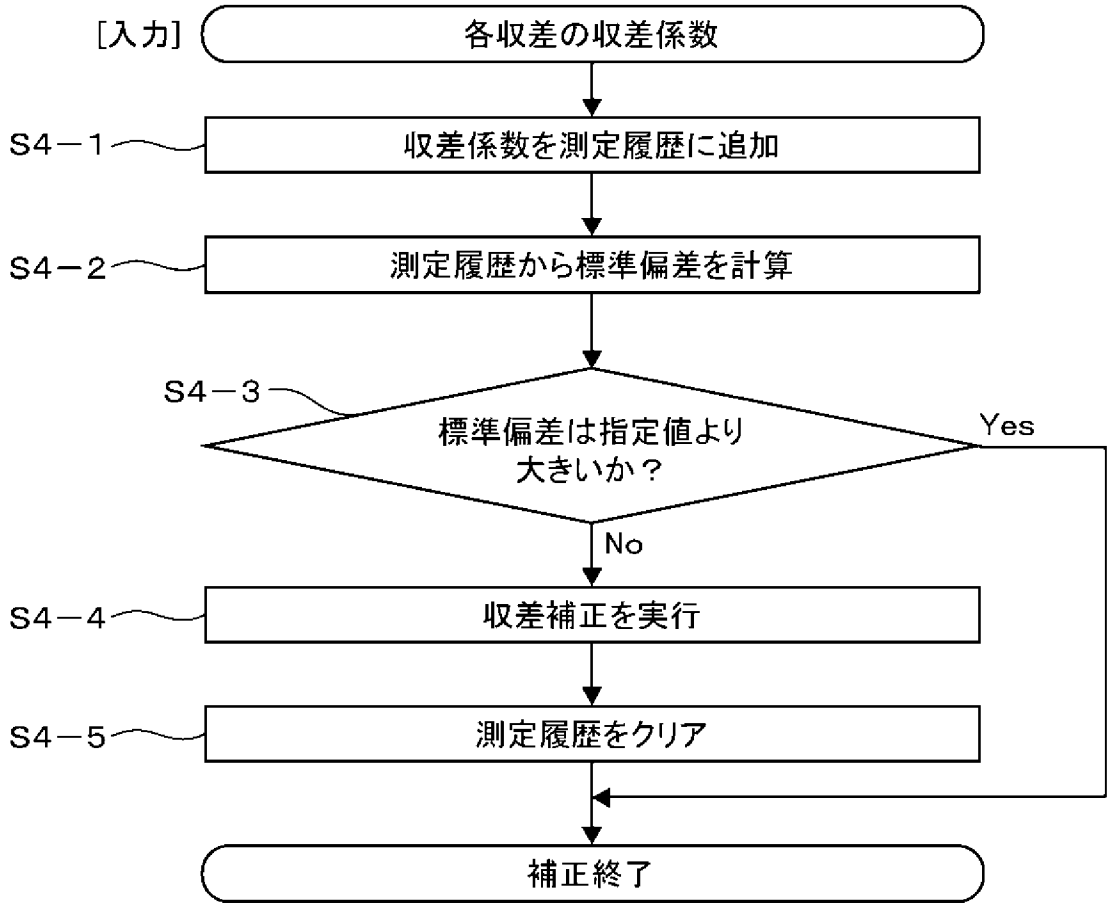
[図14]

図１４


151
46
学習情報GUI
価値関数テーブル
A1
B2
A2
C3
S3
A3
パラメータ
学習率 α
0.1
47
割引率 γ
0.9
48
温度T
0.2
49
44
統計
合計学習回数
100
50
訪問状態数
5
51
平均学習回数
20
52
45

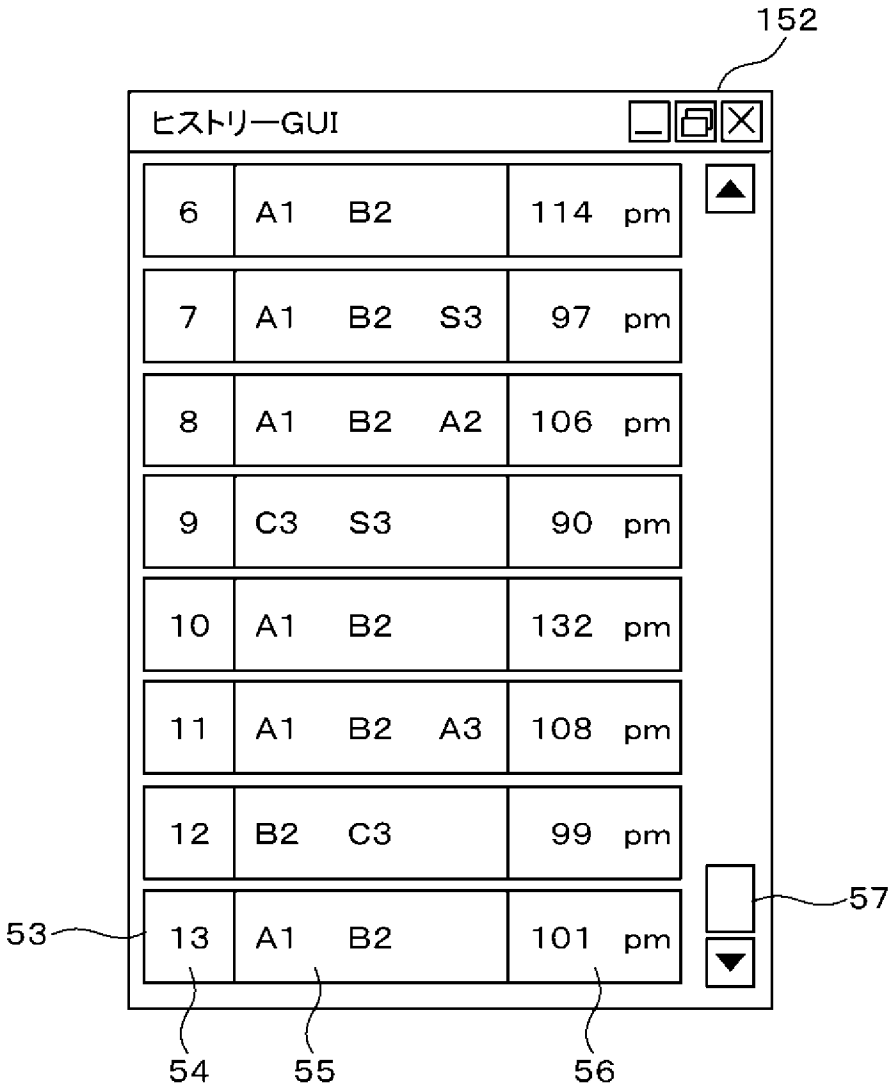
[図15]

図１５


[入力]
各収差の収差係数
S4－1
収差係数を測定履歴に追加
S4－2
測定履歴から標準偏差を計算
S4－3
標準偏差は指定値より
大きいか？
Yes
No
S4－4
収差補正を実行
S4－5
測定履歴をクリア
補正終了

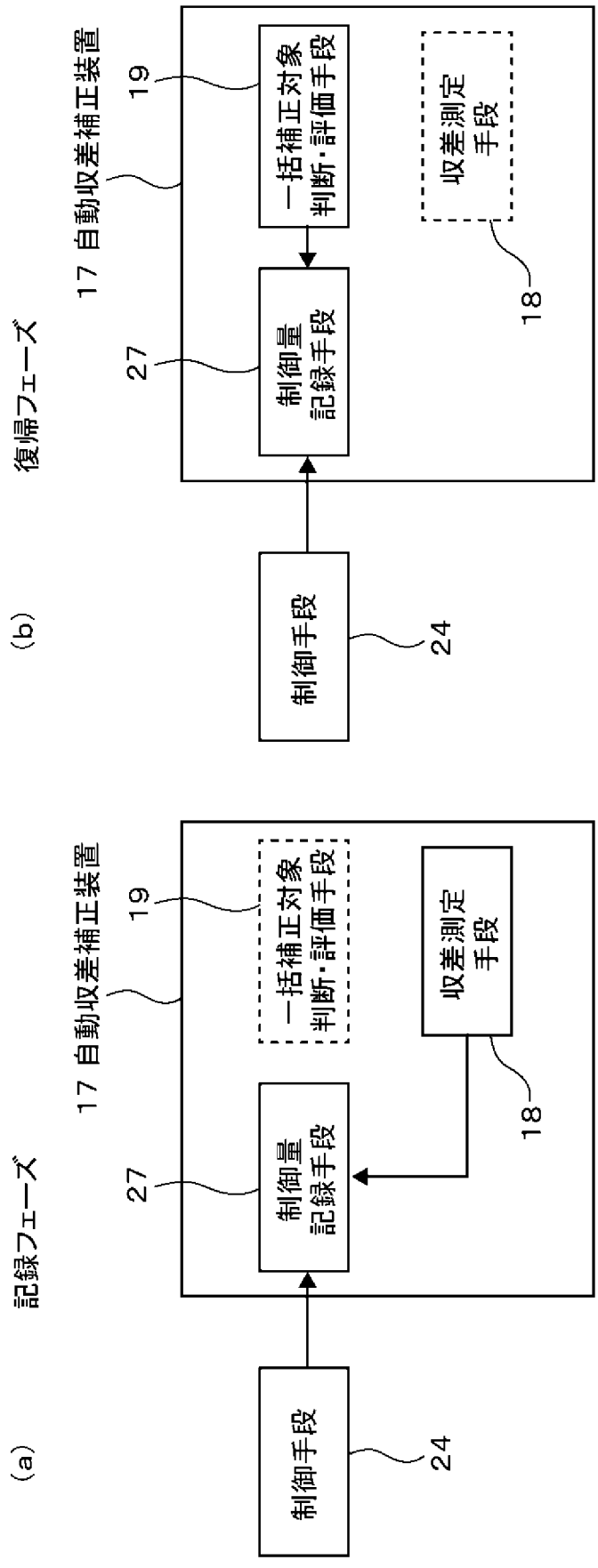
[図16]

図１６


152
ヒストリーGUI
6 A1 B2 114 pm
7 A1 B2 S3 97 pm
8 A1 B2 A2 106 pm
9 C3 S3 90 pm
10 A1 B2 132 pm
11 A1 B2 A3 108 pm
12 B2 C3 99 pm
13 A1 B2 101 pm
53
54
55
56
57

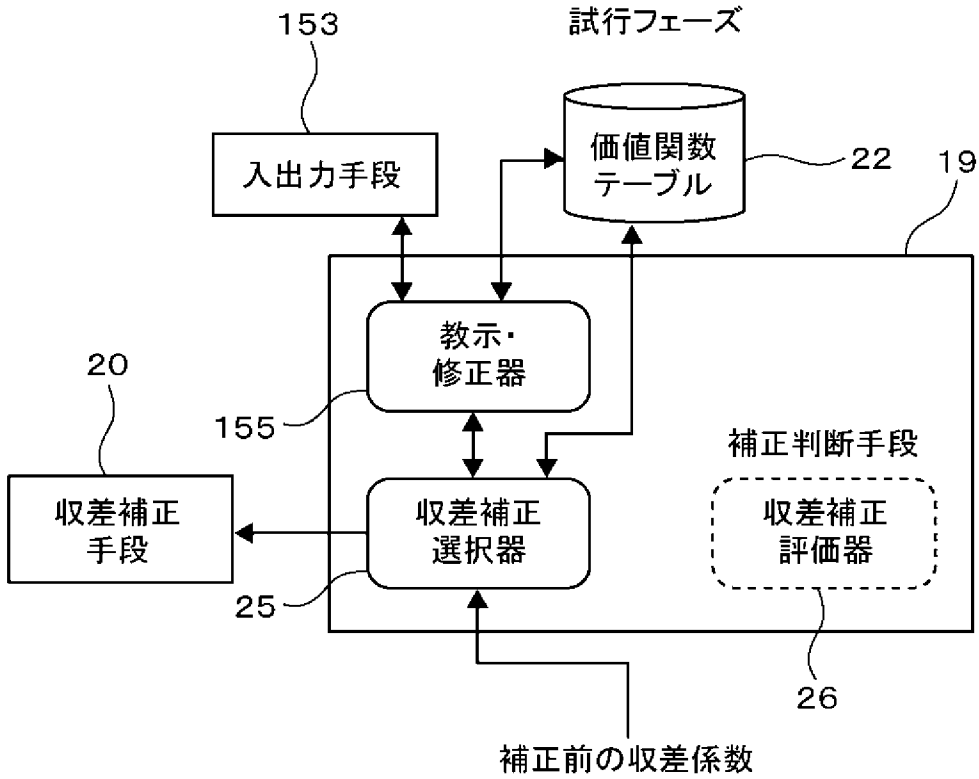
[図17]

図１７


(a)
記録フェーズ
17 自動収差補正装置
19
一括補正対象
判断・評価手段
収差測定
手段
27
制御量
記録手段
18
制御手段
24
(b)
復帰フェーズ
17 自動収差補正装置
19
一括補正対象
判断・評価手段
収差測定
手段
27
制御量
記録手段
18
制御手段
24

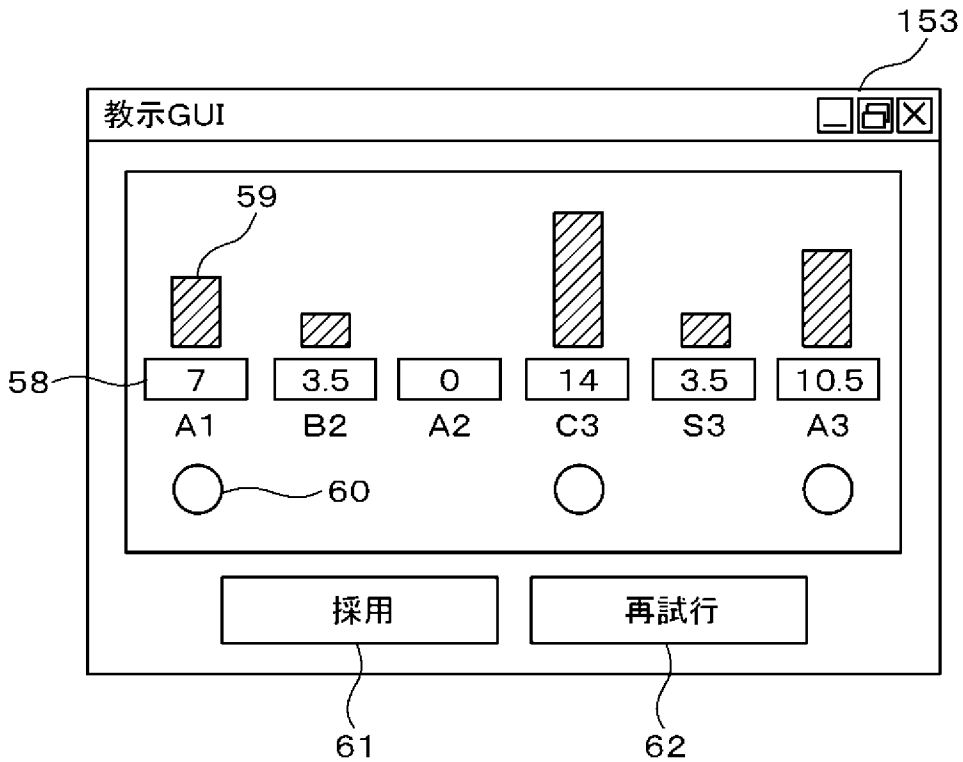
[図18A]

図１８Ａ



[図18B]

図１８Ｂ



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/067440

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01J37/153(2006.01)i, *G05B13/02*(2006.01)i, *G06N3/00*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H01J37/153, G05B13/02, G06N3/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-114305 A (JEOL Ltd.), 27 April 2006 (27.04.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1
A	JP 2008-288024 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 27 November 2008 (27.11.2008), entire text; all drawings & US 2009/0008550 A1	1
A	JP 4-200081 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 21 July 1992 (21.07.1992), entire text; all drawings (Family: none)	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
14 September, 2012 (14.09.12)	25 September, 2012 (25.09.12)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/067440

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

The technical feature common to the invention of claim 1, the invention of claims 2-18, and the invention of claims 19-20 is "a charged particle beam device comprising a charged particle source, a charged particle optical system for irradiating a sample with a charged particle released from the charged particle source as a charged particle beam, and an aberration corrector for correcting aberration of the charged particle optical system."

However, the above-said technical feature cannot be considered to be a special technical feature, since the technical feature is a well-known matter in this technical field as disclosed in the document: JP 2006-114305 A (see paragraph [0002]) which is cited in this international search report.

Further, there is no other same or corresponding special technical feature among these inventions.

Therefore, the following three inventions (invention groups) are involved in claims.

(Invention 1) the invention of claim 1

The invention 1 has a technical feature which is "to include an automatic aberration correcting device for autonomously acquiring an optimum adjustment procedure by learning".

(Invention 2) the inventions of claims 2-18

The invention 2 has a common technical feature which is "to include an aberration measurement means for measuring a plurality of aberration coefficients of the charged particle optical system, a storage device in which a value function table for retaining a value indicating which aberration to be corrected among the plurality of measured aberration coefficients is stored, a correction target determination means for determining corrections of a plurality of aberrations based on the measured aberration coefficient and the value of the value function table, and an aberration correction means for correcting the plurality of aberrations determined for the corrections by the correction target determination means".

(Invention 3) the inventions of claims 19-20

The invention 3 has a common technical feature which is "to include an evaluation unit for evaluating an executed correction procedure based on a measurement result of an aberration correction of the charged particle optical system".

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０６７４４０

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01J37/153(2006.01)i, G05B13/02(2006.01)i, G06N3/00(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01J37/153, G05B13/02, G06N3/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１２年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	JP 2006-114305 A (日本電子株式会社) 2006.04.27, 全文全図 (ファミリーなし)	1
A	JP 2008-288024 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2008.11.27, 全文全図 & US 2009/0008550 A1	1
A	JP 4-200081 A (オリンパス光学工業株式会社) 1992.07.21, 全文全図 (ファミリーなし)	1

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 １４．０９．２０１２	国際調査報告の発送日 ２５．０９．２０１２
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｇ　９６０６ 桐畑　幸▲廣▼ 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２２６

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０６７４４０

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第8条第3項（ＰＣＴ17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

１．☐ 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

２．☐ 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

３．☐ 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

特別ページ参照。

１．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。

２．☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

３．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。

４．☑ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

請求項１

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。

☐ 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

第Ⅲ欄の続き

請求項１に係る発明、請求項２－１８に係る発明、及び請求項１９－２０に係る発明は、「荷電粒子源と、前記荷電粒子源から放出された荷電粒子を荷電粒子線として試料に対して照射する荷電粒子光学系と、前記荷電粒子光学系の収差を補正する収差補正器とを備えた荷電粒子線装置」という共通の技術的特徴を有している。

しかし、上記技術的特徴は、この国際調査報告で引用された文献：JP 2006-114305 A（【０００２】参照。）にみられるように、当該技術分野において周知の事項であるから、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、ほかに同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。

したがって、請求の範囲には以下に示す３の発明（群）が含まれる。

（発明１）請求項１に係る発明

発明１は、「自律的に最適な調整手順を学習により獲得する自動収差補正装置を備える」という技術的特徴を有している。

（発明２）請求項２－１８に係る発明

発明２は、「前記荷電粒子光学系の複数の収差係数を測定する収差測定手段と、前記測定された複数の収差係数のうち、どの収差を補正するかを示す値を保持する価値関数テーブルが保存された記憶装置と、前記測定された収差係数と前記価値関数テーブルとの値に基づいて、複数の収差の補正を判断する補正対象判断手段と、前記補正対象判断手段で前記補正の判断がされた前記複数の収差を補正する収差補正手段と、を有する」という共通の技術的特徴を有している。

（発明３）請求項１９－２０に係る発明

発明３は、「前記荷電粒子光学系の収差補正の測定結果に基づき、実施した補正手順を評価する評価部を有する」という共通の技術的特徴を有している。