

(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2013-248133

(P2013-248133A)

(43) 公開日 平成25年12月12日(2013.12.12)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
A 6 1 N 5/10 (2006.01) A 6 1 N 5/10 P 4 C 0 8 2

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2012-124674 (P2012-124674)	(71) 出願人	505374783 独立行政法人日本原子力研究開発機構 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(22) 出願日	平成24年5月31日(2012.5.31)	(71) 出願人	504171134 国立大学法人 筑波大学 茨城県つくば市天王台一丁目1番1
		(74) 代理人	100100549 弁理士 川口 嘉之
		(74) 代理人	100113608 弁理士 平川 明
		(72) 発明者	佐藤 達彦 茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4 独立行政法人日本原子力研究開発機構 東海研究開発センター 原子力科学研究所内

最終頁に続く

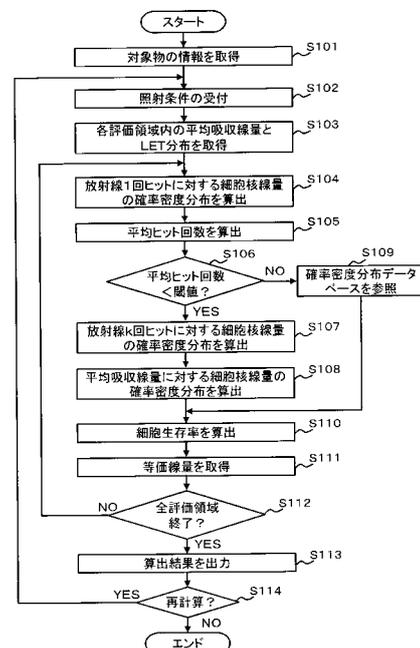
(54) 【発明の名称】 情報処理装置、情報処理方法及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】様々な放射線治療計画の精度を向上させることを可能にする技術を提供する。

【解決手段】本発明の一側面に係る情報処理装置は、照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動をシミュレーションすることで得られる前記対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量を取得するシミュレーション情報取得部と、前記評価領域に含まれると仮定される各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する確率密度分布を取得する分布取得部と、前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布と前記平均吸収線量とに基づいて、前記評価領域における等価線量を取得する等価線量取得部と、を備える。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動をシミュレーションすることで得られる前記対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量を取得するシミュレーション情報取得部と、

前記評価領域に含まれると仮定される各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する確率密度分布を取得する分布取得部と、

前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布と前記平均吸収線量とに基づいて、前記評価領域における等価線量を取得する等価線量取得部と、

を備える情報処理装置。

【請求項 2】

前記シミュレーション情報取得部は、前記評価領域における線エネルギー付与分布を更に取得し、

前記分布取得部は、

前記評価領域に含まれると仮定される各細胞又は細胞核に放射線が 1 回ヒットする場合の吸収線量の確率密度分布を前記線エネルギー付与分布から算出し、

前記各細胞又は細胞核に前記放射線が 1 回ヒットする場合の吸収線量の前記確率密度分布の平均値と前記平均吸収線量との比から、前記各細胞又は細胞核に前記放射線がヒットする回数の平均値である平均ヒット回数を算出し、

前記各細胞又は細胞核に前記放射線がヒットする回数が前記平均ヒット回数を平均値とする確率分布に従うと仮定することで導出される、前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布を取得する、請求項 1 に記載の情報処理装置。

【請求項 3】

前記分布取得部は、

算出した前記平均ヒット回数が閾値以上である場合、取得した前記線エネルギー付与分布の平均値に基づいて、線エネルギー付与分布の平均値に関する前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する確率密度分布を格納したデータベースを参照することで、前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布を取得する、

請求項 2 に記載の情報処理装置。

【請求項 4】

前記等価線量取得部は、

前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布と前記評価領域に含まれる細胞個々の生存率との積に基づいて、前記照射条件により照射される放射線に対する細胞生存率を算出し、

算出した前記細胞生存率に基づいて、前記評価領域における前記等価線量を取得する、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 5】

取得された前記評価領域における前記等価線量を出力する結果出力部、を更に備える請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

【請求項 6】

コンピュータが、

照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動をシミュレーションすることで得られる前記対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量を取得するステップと、

前記評価領域に含まれると仮定される各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する確率密度分布を取得するステップと、

前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布と前記平均吸収線量とに基づいて、前記評価領域における等価線量を取得するステップと

10

20

30

40

50

、
 を実行する情報処理方法。

【請求項 7】

コンピュータに、

照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動をシミュレーションすることで得られる前記対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量を取得するステップと、

前記評価領域に含まれると仮定される各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する確率密度分布、を取得するステップと、

前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布と前記平均吸収線量とに基づいて、前記評価領域における等価線量を取得するステップと

10

、
 を実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、情報処理装置、情報処理方法、及び、プログラムの技術に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、放射線治療を実施するために、治療計画システムと呼ばれるソフトウェアが利用されている。例えば、非特許文献 1 には、患者の CT (Computed Tomography) 等により得られた医療画像データを基に対象物の 3 次元モデルを作成し、作成した 3 次元モデルを用いて治療計画を実施するシステムが開示されている。当該治療計画システムは、照射条件 (放射線の照射位置、入射角度等) を設定して前記対象物内での放射線挙動解析シミュレーションを実行して各部位に付与される線量評価を行う。

20

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】H. Kumada et al., "Application of the Multi-Model Monte-Carlo Treatment Planning System Combined with PHITS to Proton Radiotherapy", Prog. Nucl. Sci. Technol., 2011, Vol. 2, pp.213-218

30

【非特許文献 2】T. Sato et al., "Biological Dose Estimation for Charged-Particle Therapy Using an Improved PHITS Code Coupled with a Microdosimetric Kinetic Model", Radiat. Res. 171, 2009, 107-117

【非特許文献 3】Y. Furusawa, et al., "Inactivation of aerobic and hypoxic cells from three different cell lines by accelerated 3He-, 12C- and 20Ne-ion beams", Radiat. Res., 154, 2000, 485-496

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

治療計画システムは、放射線ガン治療の治療計画を立てるために、ターゲットとなる腫瘍及びその周辺の組織の等価線量を計算し、その治療効果を推定する。従来の放射線治療に係る治療計画システムでは、各細胞又は細胞核における吸収線量の確率的な分散は無視できるものと仮定し、ある一定の領域内での平均吸収線量を指標としてその等価線量を計算している。

40

【0005】

しかしながら、実際の治療放射線場における各細胞又は細胞核における吸収線量の確率的な分散があるため、計算された等価線量を根拠に十分な放射線を照射したとしても、一部の低線量照射細胞が生き残ってしまうという問題点があった。つまり、各細胞又は細胞核における吸収線量の確率的な分散を無視する分、計算される等価線量が実際の値から乖離してしまい、放射線治療計画の精度を悪化させてしまうという問題点があった。

50

【 0 0 0 6 】

一側面では、本発明は、このような点を考慮してなされたものであり、粒子線治療、中性子ホウ素捕捉療法（BNCT：Boron Neutron Capture Therapy）、光子線治療等の様々な放射線治療計画の精度を向上させることを可能にする技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本発明の一側面に係る情報処理装置は、照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動をシミュレーションすることで得られる前記対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量を取得するシミュレーション情報取得部と、前記評価領域に含まれると仮定される各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する確率密度分布を取得する分布取得部と、前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布と前記平均吸収線量とに基づいて、前記評価領域における等価線量を取得する等価線量取得部と、を備える。

10

【 0 0 0 8 】

上記本発明の一側面に係る情報処理装置によれば、照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動をシミュレーションすることで得られる対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量が取得される。また、評価領域に含まれると仮定される各細胞又は細胞核における吸収線量の平均吸収線量に対する確率密度分布が取得される。そして、取得された当該確率密度分布と前記平均吸収線量とに基づいて、評価領域における等価線量が取得される。

20

【 0 0 0 9 】

従って、上記本発明の一側面に係る情報処理装置によれば、各細胞又は細胞核における吸収線量の確率的な分散が無視されずに評価領域における等価線量が取得される。そのため、取得される等価線量と実際の値との乖離を抑えることが可能となり、粒子線治療、中性子ホウ素捕捉療法、光子線治療等の様々な放射線治療計画の精度を向上させることが可能となる。

【 0 0 1 0 】

また、上記情報処理装置の別の形態として、前記シミュレーション情報取得部は、前記評価領域における線エネルギー付与分布を更に取得し、前記分布取得部は、前記評価領域に含まれると仮定される各細胞又は細胞核に放射線が1回ヒットする場合の吸収線量の確率密度分布を前記線エネルギー付与分布から算出し、前記各細胞又は細胞核に前記放射線が1回ヒットする場合の吸収線量の前記確率密度分布の平均値と前記平均吸収線量との比から、前記各細胞又は細胞核に前記放射線がヒットする回数の平均値である平均ヒット回数を算出し、前記各細胞又は細胞核に前記放射線がヒットする回数が前記平均ヒット回数を平均値とする確率分布に従うと仮定することで導出される、前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布を取得してもよい。

30

【 0 0 1 1 】

また、上記情報処理装置の別の形態として、前記分布取得部は、算出した前記平均ヒット回数が閾値以上である場合、取得した前記線エネルギー付与分布の平均値に基づいて、線エネルギー付与分布の平均値に関する前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する確率密度分布を格納したデータベースを参照することで、前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布を取得してもよい。

40

【 0 0 1 2 】

また、上記情報処理装置の別の形態として、前記等価線量取得部は、前記各細胞又は細胞核における吸収線量の前記平均吸収線量に対する前記確率密度分布と前記評価領域に含まれる細胞個々の生存率との積に基づいて、前記照射条件により照射される放射線に対する細胞生存率を算出し、算出した前記細胞生存率に基づいて、前記評価領域における前記等価線量を取得してもよい。

50

【0013】

また、上記情報処理装置の別の形態として、取得された前記評価領域における前記等価線量を出力する結果出力部、を更に備えてもよい。

【0014】

なお、本発明の別態様としては、以上の各構成を実現する情報処理方法であってもよいし、プログラムであってもよいし、このようなプログラムを記録した、コンピュータ等が読み取り可能な記録媒体であってもよい。ここで、コンピュータ等が読み取り可能な記録媒体とは、プログラム等の情報を、電氣的、磁氣的、光學的、機械的、又は、化学的作用によって蓄積する媒体である。また、本発明の別態様として、以上の各構成を実現する複数の装置が通信可能に構成された情報処理システムであってもよい。

10

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、粒子線治療、中性子ホウ素捕捉療法、光子線治療等の様々な放射線治療計画の精度を向上させることを可能にする技術を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】図1は、実施の形態に係る情報処理装置を例示する。

【図2】図2は、実施の形態に係る情報処理装置の処理手順を例示する。

【図3】図3は、実施の形態に係る情報処理装置に入力される対象物の情報から得られる当該対象物の3次元モデルを例示する。

20

【図4】図4は、実施の形態に係る出力結果を例示する。

【図5】図5は、実施の形態に係る情報処理装置によって算出される細胞生存率と従来手法によって算出される細胞生存率との比較例を示す。

【図6】図6は、実施の形態に係る情報処理装置によって算出される等価線量と従来手法によって算出される等価線量との比較例を示す。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明の一側面に係る実施の形態（以下、「本実施形態」とも表記する）を、図面に基づいて説明する。ただし、以下で説明する本実施形態は、あらゆる点において本発明の例示に過ぎず、その範囲を限定しようとするものではない。本発明の範囲を逸脱することなく種々の改良や変形を行うことができることは言うまでもない。つまり、本発明の実施にあたって、本実施形態に応じた具体的構成が適宜採用されてもよい。

30

【0018】

なお、本実施形態において登場するデータを自然言語（日本語等）により説明しているが、より具体的には、コンピュータが認識可能な疑似言語、コマンド、パラメタ、マシン語等で指定される。

【0019】

§1 情報処理装置

本実施形態に係る情報処理装置は、照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動をシミュレーションすることで得られる対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量を取得する。次に、当該情報処理装置は、評価領域に含まれると仮定される各細胞又は細胞核における吸収線量の平均吸収線量に対する確率密度分布を取得する。そして、当該情報処理装置は、各細胞又は細胞核における吸収線量の平均吸収線量に対する確率密度分布と前記平均吸収線量とに基づいて、評価領域における等価線量を取得する。

40

【0020】

従って、本実施形態による情報処理装置によれば、各細胞又は細胞核における吸収線量の確率的な分散が無視されずに評価領域における等価線量が取得される。そのため、取得される等価線量と実際の値との乖離を抑えることが可能となり、粒子線治療、中性子ホウ素捕捉療法、光子線治療等の様々な放射線治療計画の精度を向上させることが可能となる。

50

【 0 0 2 1 】

なお、以下では、細胞における吸収線量を細胞線量と表記し、細胞核における吸収線量を細胞核線量と表記する。そして、本実施形態では、細胞核線量を例に挙げて説明し、細胞線量については、当該細胞核線量と同様に説明可能であるため、説明を省略する。つまり、以下の説明において、細胞核線量は細胞線量に置き換えることが可能である。

【 0 0 2 2 】

ここで、本実施形態に係る情報処理装置は、照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動をシミュレーションすることで得られる対象物に含まれる評価領域における線エネルギー付与分布を更に取得してもよい。また、評価領域に含まれると仮定される各細胞又は細胞核に放射線が1回ヒットする場合の細胞線量又は細胞核線量の確率密度分布を線エネルギー付与分布から算出してもよい。そして、情報処理装置は、当該各細胞又は細胞核に放射線が1回ヒットする場合の細胞線量又は細胞核線量の確率密度分布の平均値と平均吸収線量との比から、各細胞又は細胞核に放射線がヒットする回数の平均値である平均ヒット回数を算出してもよい。更に、情報処理装置は、各細胞又は細胞核に放射線がヒットする回数が当該平均ヒット回数を平均値とする確率分布に従うと仮定することで導出される、平均吸収線量に対する細胞線量又は細胞核線量の確率密度分布を取得してもよい。

10

【 0 0 2 3 】

また、本実施形態に係る情報処理装置は、算出した平均ヒット回数が設定された閾値以上である場合、取得した線エネルギー付与分布の平均値に基づいて、線エネルギー付与分布の平均値に関する平均吸収線量に対する細胞線量又は細胞核線量の確率密度分布を格納したデータベースを参照することで、平均吸収線量に対する細胞線量又は細胞核線量の確率密度分布を取得してもよい。

20

【 0 0 2 4 】

また、本実施形態に係る情報処理装置は、平均吸収線量に対する細胞線量又は細胞核線量の確率密度分布と評価領域に含まれる細胞個々の生存率との積に基づいて、設定された照射条件により照射される放射線に対する細胞生存率を算出してもよい。そして、当該情報処理装置は、算出した細胞生存率に基づいて、評価領域における等価線量を取得してもよい。

【 0 0 2 5 】

また、本実施形態に係る情報処理装置は、取得した等価線量を出力してもよい。

30

【 0 0 2 6 】

本実施形態では、これらについても対応可能な情報処理装置を例示する。

【 0 0 2 7 】

〔 構成例 〕

図1は、本実施形態に係る情報処理装置1の構成例を示す。情報処理装置1は、図1に示されるとおり、そのハードウェア構成として、バス13に接続される、記憶部11、制御部12、入出力部14等を有している。

【 0 0 2 8 】

記憶部11は、制御部12で実行される処理で利用される各種データ及びプログラムを記憶する(不図示)。記憶部11は、例えば、ハードディスクによって実現される。記憶部11は、USBメモリ等の記憶媒体により実現されてもよい。

40

【 0 0 2 9 】

なお、記憶部11が格納する当該各種データ及びプログラムは、CD(Compact Disc)又はDVD(Digital Versatile Disc)等の記録媒体から取得されてもよい。また、記憶部11は、補助記憶装置と呼ばれてもよい。

【 0 0 3 0 】

図1により示されるとおり、記憶部11は、確率密度分布データベース21を含む。確率密度分布データベース21は、線エネルギー付与分布の平均値に関する平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を格納する。例えば、確率密度分布データベース21は、予めモンテカルロ法により計算された、線エネルギー付与分布の平均値に対する細胞核

50

線量の確率密度分布を格納する。

【0031】

当該確率密度分布データベース21では、線エネルギー付与分布の平均値と平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布とが対応付けられている。そして、当該確率密度分布データベース21は、線エネルギー付与分布の平均値を検索条件とするクエリが与えられると、与えられた当該平均値と同一または近似される線エネルギー付与分布の平均値に関する平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を回答する。

【0032】

なお、確率密度分布データベース21は、他の情報処理装置に存在してもよい。そして、本実施形態に係る情報処理装置1は、確率密度分布データベース21が存在する他の情報処理装置にアクセスすることで、確率密度分布データベース21を参照してもよい。

10

【0033】

制御部12は、マイクロプロセッサ又はCPU (Central Processing Unit) 等の1又は複数のプロセッサと、このプロセッサの処理に利用される周辺回路 (ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、インタフェース回路等) と、を有する。制御部12は、記憶部11に格納されている各種データ及びプログラムを実行することにより、本実施形態における情報処理装置1の処理を実現する。ROM、RAM等は、制御部12内のプロセッサが取り扱うアドレス空間に配置されているという意味で主記憶装置と呼ばれてもよい。

【0034】

図1に示されるとおり、制御部12は、入力受付部31、シミュレーション情報取得部32、分布取得部33、等価線量取得部34、及び、結果出力部35を備える。入力受付部31、シミュレーション情報取得部32、分布取得部33、等価線量取得部34、及び、結果出力部35は、例えば、記憶部11に格納されたプログラム等が制御部12の周辺回路であるRAM等に展開され、制御部12のプロセッサにより実行されることによって実現される。

20

【0035】

入力受付部31は、入力を受け付けて、対象物の情報を取得する。例えば、入力受付部31は、CT、MRI (magnetic resonance imaging)、PET (positron emission tomography) 等で得られたデータの入力を受け付けることで、対象物の情報を取得する。

30

【0036】

また、入力受付部31は、取得した情報により示される対象物においてその挙動をシミュレーションする放射線の照射条件の入力を受け付けて、当該シミュレーションに係る放射線の照射条件の情報を取得する。放射線の照射条件とは、対象物に照射すると仮定する放射線の属性であり、例えば、入射放射線の強度 (粒子フルエンス)、エネルギー、照射位置、照射角度、ビーム幅等である。

【0037】

なお、例えば、入力受付部31は、予め与えられた複数種類の照射条件を出力装置に出力し、当該複数種類の照射条件からユーザの所望する照射条件の選択を受け付けることで、ユーザの所望する放射線の照射条件の情報を取得してもよい。また、例えば、入力受付部31は、対象物に照射すると仮定する放射線の複数の属性について、それぞれ数値の入力を受け付けることで、ユーザの所望する放射線の照射条件の情報を取得してもよい。

40

【0038】

シミュレーション情報取得部32は、照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動をシミュレーションすることで得られる対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量を取得する。

【0039】

例えば、シミュレーション情報取得部32は、入力受付部31により得られた情報に基づいて、指定された照射条件に係る放射線の対象物内での挙動をシミュレーションしてもよい。そして、シミュレーション情報取得部32は、当該シミュレーションの結果として

50

、当該対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量を算出することで、この情報を取得してもよい。この場合、シミュレーション情報取得部32は、放射線の挙動をシミュレーションする処理部の意味で、シミュレーション部と呼ばれてもよい。

【0040】

なお、シミュレーション情報取得部32は、当該シミュレーションの過程で、入力受付部31により得られた対象物の情報に基づいて、ユーザに提示する対象物のモデルを作成してもよい。そして、作成された対象物のモデルは、出力装置に出力されることで、ユーザに提示されてもよい。

【0041】

また、例えば、シミュレーション情報取得部32は、ネットワーク等を介して、他の情報処理装置で実行された当該シミュレーションの結果を取得することで、対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量を取得してもよい。

10

【0042】

分布取得部33は、評価領域に含まれると仮定される各細胞核における吸収線量である細胞核線量の前記平均吸収線量に対する確率密度分布を取得する。

【0043】

なお、前述のシミュレーション情報取得部32は、当該平均吸収線量と同様の方法で、評価領域における線エネルギー付与分布を取得してもよい。そして、分布取得部33は、当該平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を、取得した当該線エネルギー付与分布から導出してよい。

20

【0044】

具体的には、分布取得部33は、評価領域に含まれると仮定される細胞核に放射線が1回ヒットする場合の細胞核線量の確率密度分布を線エネルギー付与分布から算出してよい。また、分布取得部33は、当該細胞核に放射線が1回ヒットする場合の細胞核線量の確率密度分布の平均値と評価領域における平均吸収線量との比から、評価領域に含まれる細胞核に放射線がヒットする回数の平均値である平均ヒット回数を算出してよい。そして、分布取得部33は、各細胞核に放射線がヒットする回数が平均ヒット回数を平均値とする確率分布に従うと仮定することで導出される、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を取得してもよい。

【0045】

また、分布取得部33は、算出した平均ヒット回数が設定された閾値以上である場合、取得した線エネルギー付与分布の平均値に基づいて、確率密度分布データベース21を参照することで、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を取得してもよい。

30

【0046】

等価線量取得部34は、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布と平均吸収線量とに基づいて、対象の評価領域における等価線量を取得する。

【0047】

なお、等価線量取得部34は、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布と評価領域に含まれる細胞個々の生存率との積に基づいて、指定された照射条件により照射される放射線に対する細胞生存率を算出してよい。そして、等価線量取得部34は、算出した細胞生存率に基づいて、対象の評価領域における等価線量を取得してもよい。ここで、当該細胞生存率は、対象の評価領域に含まれると仮定した細胞の生存率を示す。

40

【0048】

結果出力部35は、等価線量取得部34により取得された評価領域における等価線量を出力する。

【0049】

入出力部14は、情報処理装置1の外部に存在する装置とデータの送受信を行うための1又は複数のインタフェースである。入出力部14は、例えば、LAN (Local Area Network) ケーブルを接続するためのインタフェース、入力装置及び出力装置等のユーザインタフェースと接続するためのインタフェース、又はUSB等のインタフェースである。

50

【0050】

なお、入出力部14は、CDドライブ、DVDドライブ等の着脱可能な記録媒体の入出力装置、或いはメモリカード等の不揮発性の可搬型の記憶媒体等の入出力装置と接続していてもよい。入出力部14は、ネットワーク接続を行うインタフェース（通信部）としての機能を有してもよい。

【0051】

本実施形態に係る情報処理装置1は、以上で説明した構成要素を備える。しかしながら、情報処理装置1は、本発明の実施にあたって、以上で説明した構成要素の全てを備えなくてもよい。情報処理装置1の構成要素に関して、実施形態に応じて適宜、省略、置換、及び、追加が可能である。

10

【0052】

§2 動作例

図2は、本実施形態に係る情報処理装置1の処理手順の一例を示す。なお、図2では、ステップを「S」と略称する。なお、以下で説明する動作例は、本実施形態に係る情報処理装置1の情報処理の一例に過ぎず、各処理は、当該各処理の前に実行された処理の結果を用いる等の従属関係がない場合等、可能な限り入れ替えられてよい。

【0053】

本実施形態に係る情報処理装置1は、例えば、ユーザによる操作に応じて、記憶部11に格納されたプログラムを制御部12のRAM等に展開する。そして、情報処理装置1は、制御部12のRAM等に展開された当該プログラムを制御部12のプロセッサにより実行する。これにより、情報処理装置1は、本実施形態の動作例に係る処理を開始する。

20

【0054】

ステップ101では、入力受付部31により、対象物の情報が取得される。例えば、入力受付部31は、CT、MRI、PET等で得られたデータの入力を受け付ける。これにより、情報処理装置1は、放射線の挙動をシミュレーションする対象物の情報を取得する。本実施形態では、対象物として、人間の頭部を想定する。ただし、対象物は、実施の形態に応じて適宜選択されてよい。また、入力受付部31により受け付けられるデータの種類についても、実施の形態に応じて適宜選択されてよい。

【0055】

ステップ102では、入力受付部31により、シミュレーションに係る放射線の照射条件の入力が受け付けられる。例えば、入力受付部31は、シミュレーションに係る放射線の照射条件として、放射線の強度（粒子フルエンス）、エネルギー、照射位置、照射角度、ビーム幅等の入力を受け付ける。これにより、情報処理装置1は、シミュレーションに係る放射線の照射条件の情報を取得する。

30

【0056】

ステップ103では、シミュレーション情報取得部32により、照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動をシミュレーションすることで得られる当該対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量と線エネルギー付与分布とが取得される。

【0057】

例えば、シミュレーション情報取得部32は、ステップ101で取得される情報に従って、放射線照射のシミュレーションに係る対象物を特定する。また、シミュレーション情報取得部32は、ステップ102で取得される情報に従って、放射線照射のシミュレーションに係る放射線の照射条件を特定する。そして、シミュレーション情報取得部32は、特定した放射線の照射条件及び対象物に基づいて、照射条件が指定された放射線の対象物内での挙動に係るシミュレーションを行う。

40

【0058】

このとき、シミュレーション情報取得部32は、ステップ101で取得される情報に基づいて、ユーザに提示するための当該対象物の2次元又は3次元のモデルを作成してもよい。一例として、シミュレーション情報取得部32は、CT、MRI、又は、PET等により得られた画像データから対象物の3次元モデルを作成してもよい。

50

【 0 0 5 9 】

図 3 は、ユーザに提示される対象物の 3 次元モデルを例示する。これにより、ユーザは、放射線照射のシミュレーションにおいて対象物に放射線が照射される状況を視覚的に確認することができる。

【 0 0 6 0 】

なお、シミュレーション情報取得部 3 2 は、当該対象物の領域を複数の評価領域に分割し、当該複数の評価領域それぞれにおいて放射線照射に係る評価を行ってもよい。例えば、図 3 で例示される 3 次元モデルは、複数のボクセルから形成されている。シミュレーション情報取得部 3 2 は、当該ボクセルを評価領域として、当該評価領域における放射線照射に係る評価を行ってもよい。

10

【 0 0 6 1 】

なお、当該シミュレーションを行うソフトウェアとして、例えば、J C D S (JAEA Computational Dosimetry System) を挙げることができる。また、当該シミュレーションに係る線量計算コードとして、例えば、P H I T S (Particle and Heavy Ion Transport code System) コードを挙げることができる。シミュレーション情報取得部 3 2 は、これらを用いて、上記放射線照射のシミュレーションを行ってもよい。

【 0 0 6 2 】

そして、シミュレーション情報取得部 3 2 は、当該シミュレーションにおいてそれぞれの評価領域において平均吸収線量と L E T (線エネルギー付与) 分布とを導出する。これにより、シミュレーション情報取得部 3 2 は、対象物に含まれる評価領域における平均吸収線量と L E T 分布とを取得する。なお、本実施形態では、シミュレーション情報取得部 3 2 は、ステップ 1 0 3 の処理により、複数の評価領域それぞれについて、平均吸収線量と L E T 分布とを取得する。そして、後述するステップ 1 0 4 ~ 1 1 1 の処理が繰り返されることで、当該複数の評価領域それぞれにおける等価線量が取得される。

20

【 0 0 6 3 】

なお、本実施形態では、シミュレーション情報取得部 3 2 は、放射線照射に係るシミュレーションを実行することで、評価領域における平均吸収線量と L E T 分布とを取得している。しかしながら、シミュレーション情報取得部 3 2 が平均吸収線量と L E T 分布とを取得する方法は、このような形態に限定される訳ではない。例えば、シミュレーション情報取得部 3 2 は、ネットワーク等を介して、他の情報処理装置で実行された当該シミュレーションの結果を取得することで、評価領域における平均吸収線量と線エネルギー付与分布とを取得してもよい。

30

【 0 0 6 4 】

ステップ 1 0 4 ~ 1 0 9 の処理は、分布取得部 3 3 の処理に関する。本実施形態に係る情報処理装置 1 は、ステップ 1 0 4 ~ 1 0 9 の処理により、対象の評価領域について、ステップ 1 0 3 で取得した平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を取得する。

【 0 0 6 5 】

なお、本動作例では、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布が、ステップ 1 0 3 で取得した L E T 分布から導出される例を示す。しかしながら、本実施形態における平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布は、このような方法によって導出されるものに限定されない。例えば、P H I T S 等の計算コードを利用して、細胞核での放射線挙動が直接解析されることで、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布が得られてもよい。また、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布は、細胞核での放射線挙動の解析を参考に与えられた数学モデルであってもよい。

40

【 0 0 6 6 】

ステップ 1 0 4 では、分布取得部 3 3 により、対象の評価領域に含まれると仮定される各細胞核に放射線が 1 回ヒットする場合の細胞核線量の確率密度分布を L E T 分布から算出する。分布取得部 3 3 は、例えば、対象の評価領域において、設定された特定の形及び大きさの細胞核 (又は細胞) が複数存在すると仮定する。そして、分布取得部 3 3 は、[数 1] の式に基づいて、仮定した各細胞核に放射線が 1 回ヒットする場合の細胞核線量の

50

確率密度分布を L E T 分布から算出する。

【 0 0 6 7 】

【 数 1 】

$$f_1(z) = \int_0^{\infty} F_L(L) f_1(z, L) dL$$

なお、 $f_1(z)$ は、対象の評価領域における放射線 1 回ヒットに対する細胞核線量の確率密度分布を示す。 $F_L(L)$ は、対象の評価領域における L E T 分布を示す。 z は、細胞核線量を示す。 $f_1(z, L)$ は、線エネルギー付与 L を有する放射線が細胞核に 1 回ヒットした場合における細胞核線量の確率密度分布を示す。なお、当該 $f_1(z, L)$ は、例えば、対象の評価領域に存在すると仮定した細胞（又は細胞核）に対応する所定の数学モデルとして与えられる。

10

【 0 0 6 8 】

ステップ 1 0 5 では、分布取得部 3 3 により、各細胞核に放射線が 1 回ヒットする場合の細胞核線量の確率密度分布の平均値と対象の評価領域における平均吸収線量との比から、当該各細胞核に放射線がヒットする回数の平均値である平均ヒット回数を算出する。例えば、分布取得部 3 3 は、[数 2] の式に基づいて、当該平均ヒット回数を算出する。

【 0 0 6 9 】

【 数 2 】

$$\lambda(D) = \frac{D}{z_F}$$

20

なお、 (D) は、平均ヒット回数を示す。 D は、対象の評価領域における平均吸収線量を示す。 z_F は、放射線 1 回ヒットに対する細胞核線量の確率密度分布 $f_1(z)$ の平均値を示す。

【 0 0 7 0 】

ステップ 1 0 6 では、制御部 1 2 は、ステップ 1 0 5 で算出された平均ヒット回数が設定された閾値未満であるか否かを判定する。そして、ステップ 1 0 5 で算出された平均ヒット回数が設定された閾値未満であると判定された場合、処理はステップ 1 0 7 に進む。他方、ステップ 1 0 5 で算出された平均ヒット回数が設定された閾値以上であると判定された場合、処理はステップ 1 0 9 に進む。

30

【 0 0 7 1 】

後述するステップ 1 0 7 では、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を算出するために、平均ヒット回数に基づいて畳み込み積分の処理が繰り返し行われる。そのため、平均ヒット回数が多いほど、ステップ 1 0 7 における計算量が多くなる。本実施形態に係る情報処理装置 1 は、一側面として、その計算量を抑えるために本ステップ 1 0 6 に係る判定を行う。

【 0 0 7 2 】

すなわち、本実施形態に係る情報処理装置 1 は、平均ヒット回数が閾値未満である場合、換言すれば、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を算出する計算量がある程度少ない見込みの場合、当該確率密度分布を計算する。他方、本実施形態に係る情報処理装置 1 は、平均ヒット回数が閾値以上である場合、換言すれば、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を算出する計算量がある程度大きい見込みの場合、確率密度分布データベース 2 1 から当該確率密度分布を取得する。

40

【 0 0 7 3 】

なお、ステップ 1 0 6 における閾値は、ユーザによって設定されてよい。ユーザは、例えば、本動作例に係る処理時間を短くしたい場合は閾値の値を小さめに設定する。

【 0 0 7 4 】

ステップ 1 0 7 では、分布取得部 3 3 により、 $f_1(z)$ が順次畳み込み積分されるこ

50

とで、各細胞核に放射線が n 回ヒットする場合の細胞核線量の確率密度分布が算出される。ここで、n は自然数である。分布取得部 33 は、例えば、[数 3] に基づいて、各細胞核に放射線が n 回ヒットする場合の細胞核線量の確率密度分布を算出する。

【 0 0 7 5 】

【 数 3 】

$$f_n(z) = \int_0^z f_1(x) f_{n-1}(z-x) dx$$

なお、 $f_n(z)$ は、各細胞核に放射線が n 回ヒットする場合の細胞核線量の確率密度分布を示す。

【 0 0 7 6 】

ステップ 108 では、分布取得部 33 により、各細胞核に放射線がヒットする回数が平均ヒット回数を平均値とする確率分布に従うと仮定され、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布が取得される。分布取得部 33 は、例えば、[数 4] に基づいて、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を算出する。なお、本実施形態では、当該確率分布として、ポアソン分布を例に挙げて説明する。

【 0 0 7 7 】

【 数 4 】

$$f(z, D) = \sum_n \frac{\lambda(D)^n e^{-\lambda(D)}}{n!} f_n(z)$$

なお、 $f(z, D)$ は、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を示す。また、 e は、自然対数の底を示す。

【 0 0 7 8 】

一方、ステップ 109 では、分布取得部 33 によって、LET 分布 $F_L(L)$ の平均値に基づいて、確率密度分布データベース 21 が参照されることで、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布が取得される。例えば、分布取得部 33 は、対象の評価領域における LET 分布 $F_L(L)$ の平均値を算出する。分布取得部 33 は、算出した LET 分布 $F_L(L)$ の平均値を検索条件とするクエリを確率密度分布データベース 21 に与える。そして、分布取得部 33 は、当該確率密度分布データベース 21 から当該クエリの回答として、算出した LET 分布 $F_L(L)$ の平均値と同一または近似する値に対応付けられた平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布を取得する。

【 0 0 7 9 】

ステップ 110 及び 111 の処理は、等価線量取得部 34 の処理に関する。本実施形態に係る情報処理装置 1 は、ステップ 110 ~ 111 の処理により、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布と前記平均吸収線量とに基づいて、対象の評価領域における等価線量を取得する。

【 0 0 8 0 】

ステップ 110 では、等価線量取得部 34 により、平均吸収線量に対する細胞核線量の確率密度分布と評価領域に含まれる細胞個々の生存率との積に基づいて、指定された照射条件により照射される放射線に対する細胞生存率が算出される。等価線量取得部 34 は、例えば、[数 5] に基づいて、細胞生存率を算出する。

【 0 0 8 1 】

【 数 5 】

$$S(D) = \int_0^{\infty} f(z, D) s(z) dz$$

なお、 $S(D)$ は、指定された照射条件により照射される放射線に対する細胞生存率を

10

20

30

40

50

示す。 $s(z)$ は、評価領域に含まれる細胞個々の生存率を示す。

【0082】

【数6】

$$s(z) = \exp(-\alpha_0 z - \beta_0 z^2)$$

なお、 \exp は、自然対数の底を示す。また、 α_0 及び β_0 は、設定パラメタである。

α_0 及び β_0 は、例えば、培養細胞に対する生存率測定実験の結果に基づいて決定される。

【0083】

【数6】は、線形2次 (Linear Quadratic) モデルであり、評価領域に含まれる細胞個々の生存率の一例を示す。評価領域に含まれる細胞個々の生存率には、例えば、このように、細胞個々の生存率を表現する数学モデルが用いられる。

10

【0084】

ステップ111では、等価線量取得部34により、算出された細胞生存率に基づいて、対象の評価領域における等価線量が取得される。

【0085】

等価線量取得部34は、例えば、基準放射線を指標に用いて、等価線量を導出する。基準放射線とは、等価線量を求める基準となる放射線であり、例えば、治療効果の推定の基準となる放射線である。基準放射線には、例えば、X線やガンマ線などの光子が用いられる。

20

【0086】

等価線量取得部34は、例えば、複数の強度 (粒子フルエンス) の基準放射線を設定して、それぞれ、水など等価線量を求める基準となる物質に基準放射線を照射した場合の細胞生存率を、ステップ103 ~ 110までの計算と同様にして、算出する。等価線量取得部34は、基準放射線について複数の強度で算出した細胞生存率から、ステップ102により指定された照射条件についてステップ110で算出した対象の評価領域における細胞生存率と同じになる細胞生存率を与える基準放射線の強度を推定する。そして、求めた強度から、等価線量取得部34は、ステップ102により指定された照射条件についてステップ110で算出した対象の評価領域における細胞生存率と同じ細胞生存率を与える基準放射線を照射した場合の吸収線量を算出する。等価線量取得部34は、こうして算出した吸収線量を等価線量として取得する。

30

【0087】

なお、等価線量を取得する方法は、当該方法に限定されない。細胞生存率から等価線量を取得する方法は、実施の形態に応じて、適宜選択される。例えば、等価線量取得部34は、基準放射線について予め算出された細胞生存率を用いて、上記と同様の方法から、等価線量を導出してよい。また、例えば、情報処理装置1は、算出される細胞生存率に対応する等価線量の実験値を格納したデータベースを保持してもよいし、このようなデータベースにアクセスしてもよい。この場合、等価線量取得部34は、ステップ110で算出した細胞生存率を検索条件としたクエリを当該データベースに与えることで得られる回答により、対象の評価領域における等価線量を取得する。

40

【0088】

なお、制御部12は、取得した等価線量と対象の領域における平均吸収線量との比から、生物学的効果比が求められてもよい。

【0089】

ステップ112では、制御部12は、ステップ101で得られた情報により示される対象物に設定された複数の評価領域全てについて等価線量が取得されたか否かを判定する。等価線量を取得していない評価領域が残っている場合、処理は、ステップ104に戻り、残りの評価領域についてステップ104 ~ 111の処理が繰り返される。他方、等価線量を取得していない評価領域が残っていない場合、処理は、次のステップ113に進む。

【0090】

50

ステップ 1 1 3 では、結果出力部 3 5 により、取得された等価線量が出力される。結果出力部 3 5 は、例えば、ステップ 1 0 3 において作成された 3 次元モデル上に当該等価線量の高低をユーザに示す分布を出力装置に出力してもよい。

【 0 0 9 1 】

図 4 は、等価線量の出力結果を例示する。図 4 では、対象物の 3 次元モデルに等価線量の高低を示す配色がされている。ユーザは、当該配色により、対象物の各領域における等価線量を認識することができる。

【 0 0 9 2 】

ステップ 1 1 4 では、制御部 1 2 は、シミュレーションに係る放射線の照射条件を変えて、再度、等価線量の計算を実行し直すか否かを判定する。例えば、制御部 1 2 は、ユーザに再計算を行うか否かの選択肢を出力装置に提示し、当該選択肢に対する回答を受け付ける。そして、制御部 1 2 は、当該受け付けた回答に基づいて、再計算を行うか否かを判定する。

10

【 0 0 9 3 】

再計算を行うと判定された場合、処理はステップ 1 0 2 に戻り、再度、シミュレーションに係る放射線の照射条件の入力が受け付けられ、各評価領域についての等価線量が取得される。他方、再計算を行わないと判定された場合、本動作例に係る処理は終了する。

【 0 0 9 4 】

§ 3 補足

以上、本発明の実施の形態を詳細に説明してきたが、前述までの説明はあらゆる点において本発明の例示に過ぎず、その範囲を限定しようとするものではない。本発明の範囲を逸脱することなく種々の改良や変形を行うことができることは言うまでもない。

20

【 0 0 9 5 】

例えば、対象物において、がん細胞等の腫瘍領域と細胞が正常な状態にある正常領域とが設定されていたとする。なお、当該腫瘍領域は、細胞を死滅させたい領域の一例である。また、正常領域は、細胞を生き残らせたい領域の一例である。

【 0 0 9 6 】

そうすると、腫瘍領域と設定された領域に含まれる評価領域について取得された等価線量の最も小さい値の最小等価線量を持つ評価領域が最後までがん細胞等が生き残る領域になる。他方、正常領域と設定された領域に含まれる評価領域について取得された等価線量の最も大きい値の最大等価線量を持つ領域が正常領域で最初に障害が発生する領域となる。

30

【 0 0 9 7 】

そのため、腫瘍領域における最小等価線量と正常領域における最大等価線量との比が最も大きくなる照射条件が優れた照射条件と判定することができる。制御部 1 2 は、例えば、ステップ 1 0 2 により入力された照射条件に係る治療計画の良さを示す指標として、当該腫瘍領域における最小等価線量と正常領域における最大等価線量との比を出力してもよい。

【 0 0 9 8 】

また、制御部 1 2 は、設定された複数の照射条件について、それぞれ、上記動作例に係る処理を実行して、当該比を求めてもよい。そして、制御部 1 2 は、設定された複数の照射条件に係る治療計画のうち、当該比の値が最も大きい値となる照射条件に係る治療計画を最も優れた治療計画として判定し、出力してもよい。

40

【 0 0 9 9 】

本実施形態に係る情報処理装置 1 は、各細胞又は細胞核における吸収線量の確率的な分散を無視せずに評価領域における等価線量を取得する。そのため、情報処理装置 1 は、取得される等価線量と実際の値とのかい離を抑えることができ、様々な放射線治療計画の精度を向上させることができる。

【 0 1 0 0 】

ここで、非特許文献 2 に記載される、各細胞又は細胞核における吸収線量の確率的な分

50

散を無視して等価線量を求める手法を従来手法として、当該従来手法と本実施形態に係る手法とを比較する。

【0101】

図5は、本実施形態に係る情報処理装置1により算出される細胞生存率の計算結果と従来手法により算出される細胞生存率の計算結果との比較例を示す。なお、図5は、炭素イオン ($LET = 333 \text{ keV} / \mu\text{m}$) を照射した唾液腺腫瘍 (HSG) 細胞の細胞生存率の計算結果例を示す。

【0102】

なお、図中の「本発明」の線は、本実施形態に係る手法により算出される細胞生存率を示す。図中の「従来手法 [2]」の線は、従来手法により算出される細胞生存率を示す。図中の「測定値 [3]」のプロットは、非特許文献3に記載される測定の結果を示す。

10

【0103】

図5では、本実施形態に係る情報処理装置1により算出される細胞生存率の計算結果の方が、従来手法よりも、実際の測定値をより再現していることが分かる。

【0104】

また、図6は、本実施形態に係る情報処理装置1により算出される等価線量の計算結果と従来手法により算出される等価線量の計算結果との比較例を示す。なお、図6は、 $50 \text{ MeV} / u$ の炭素イオンを照射した水中における等価線量の深さ分布を示す。図6では、炭素イオンの飛程末端 (ブラッグピーク) における平均吸収線量が 10 Gy に規格化されている。

20

【0105】

なお、図中の「本発明」の線は、本実施形態に係る手法により算出される細胞生存率を示す。図中の「従来手法 [2]」の線は、従来手法により算出される細胞生存率を示す。

【0106】

図6より、ブラッグピーク付近において、本実施形態に係る手法により計算した等価線量は、従来手法により計算した値と比較して30%程度小さいことが分かる。これは、本実施形態に係る手法が、従来手法に比べて、現実において一部の低線量照射細胞が生き残ってしまう効果を適切に考慮しているためである。

【0107】

従って、図5及び6の計算結果例により、本実施形態に係る手法の方が従来手法よりもより精度高く等価線量等を計算できることが分かる。

30

【0108】

なお、培養細胞を用いた細胞生存率測定結果から、各細胞又は細胞核における吸収線量の確率的分散による治療効果への影響は、1つの放射線で多大なエネルギーを細胞に付与することが可能な粒子線治療や中性子ホウ素捕捉療法で特に重要となると予想される。この予想から、本実施形態に係る情報処理装置1による等価線量の取得処理は、様々な放射線治療計画において有用であることが分かる。

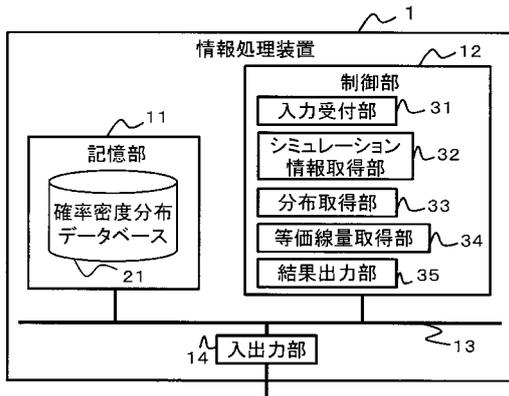
【符号の説明】

【0109】

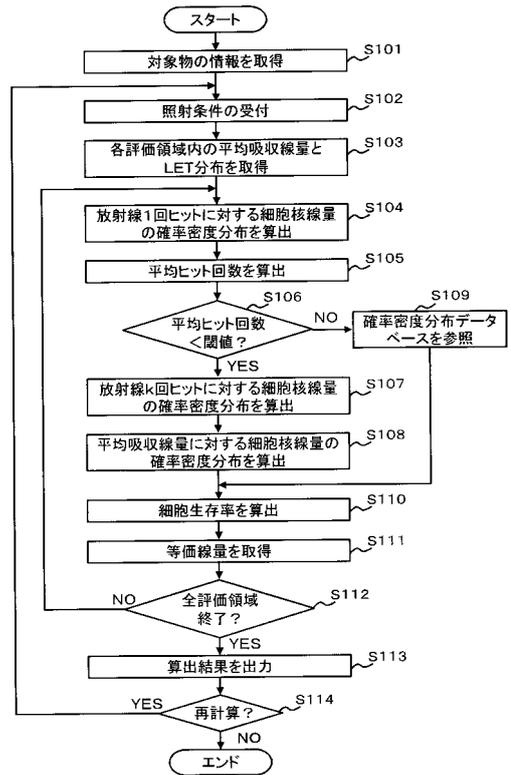
- 1 ... 情報処理装置、
- 11 ... 記憶部、12 ... 制御部、13 ... バス、14 ... 入出力部、
- 21 ... 確率密度分布データベース、
- 31 ... 入力受付部、32 ... シミュレーション情報取得部、33 ... 分布取得部、
- 34 ... 等価線量取得部、35 ... 結果出力部

40

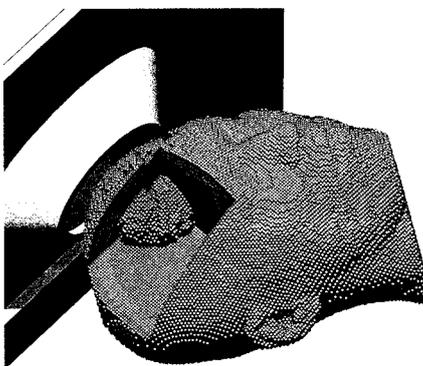
【 図 1 】



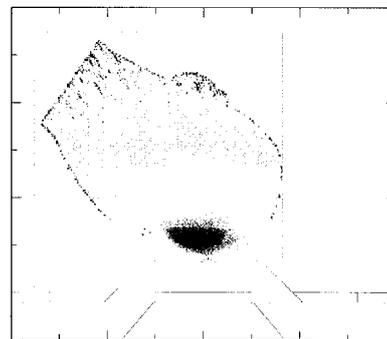
【 図 2 】



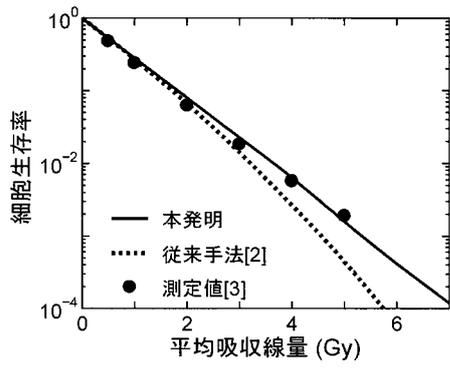
【 図 3 】



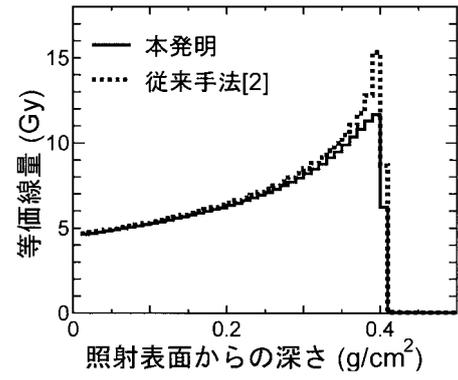
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 熊田 博明

茨城県つくば市天王台一丁目1番1 国立大学法人筑波大学内

Fターム(参考) 4C082 AC04 AC07 AC10 AN02 AN04 AN05 AR01 AR02