

総合独立 QA システムの最新技術

東洋メディック㈱ RT 技術部 物理グループ
中口 裕二



【はじめに】

近年、強度変調放射線治療(Intensity Modulated Radiation Therapy : IMRT)を代表とする高精度放射線治療の普及によって、治療成績の向上が報告されている。一方で、高精度放射線治療では、精度の高い品質保証(Quality Assurance : QA)が求められている¹⁾。高精度放射線治療における QA は、日常点検、月例点検、年点検などの定期点検に加え、被検者個別での QA も必要となっている。この QA 業務の急増が、放射線治療の臨床では問題となっている²⁾。また、QA には独立性が求められる。放射線治療の治療過程から照射精度に関して、そのシステムを提供するメーカーから独立し、バイアスを受けないシステムでの QA は理想的である。

この課題を解決するために、米国 SunNuclear 社 (SNC) から SunCHECK システムが提供されている。本稿では、SunCHECK システムの最新技術を解説する。

【システム構成】

図 1 に SunCHECK システムの構成を示す。SunCHECK は総合独立 QA システムであり、多くのモジュールより成り立っている。このシステムでは、測定デバイス、治療器、治療計画装置などと接続可能であり、処理のほとんどを自動で行うため、構成は複雑であるが、操作および管理はシンプルである。

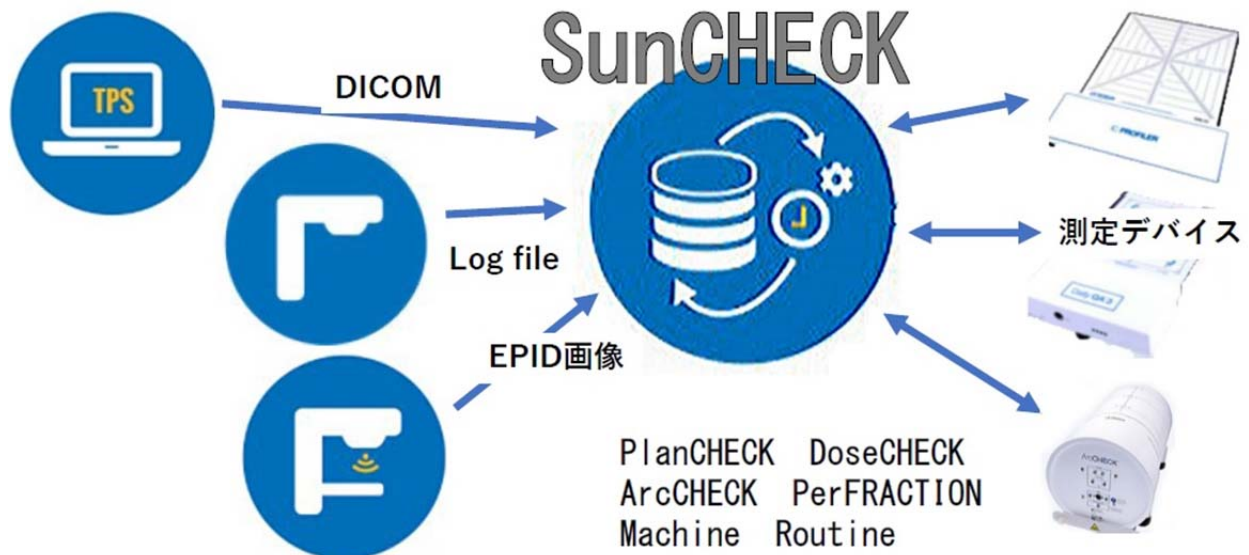


図1 SunCHECKシステムの構成

【特長】

1. PlanCHECK と DoseCHECK

被検者個別での QA に関して、治療計画装置 (Treatment Planning System : TPS) の治療計画、線量検証は、安全な放射線治療には重要な業務である。

PlanCHECKは、治療計画の妥当性を評価する。処方線量、Dose-Volume - Histogram (DVH) パラメータなどの治療計画を、Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) データより取得し、計算、検証を行う。また、Monitor Unit (MU)、門数、エネルギー、計算グリッドなどの物理パラメータも同時に評価する。DICOMデータを用いることで、人的なエラーを排除し、客観的なQAが可能となった。

TPSの線量検証にとって、計算精度は非常に重要である。計算精度の高い計算エンジンが必要であり、精度の低い計算エンジンでは安全は担保できない³⁾。DoseCHECKでは、独自の計算アルゴリズム、SunNuclear Dose Calculator (SDC)を開発した。SDCは、TPSで広く採用されているモデルベースの計算アルゴリズムであるCollapsed-cone convolution 法をもとに、厳密なリニアックモデリング、散乱計算カーネルを改善し、さらに高速化した。この新開発の SDCを用いて、独立線量計算を行うことで、中心線量のみならず、QAに比べポイント線量、MU、DVHパラメータ、ガンマ評価、線量プロファイル等の評価が可能である(図2)。

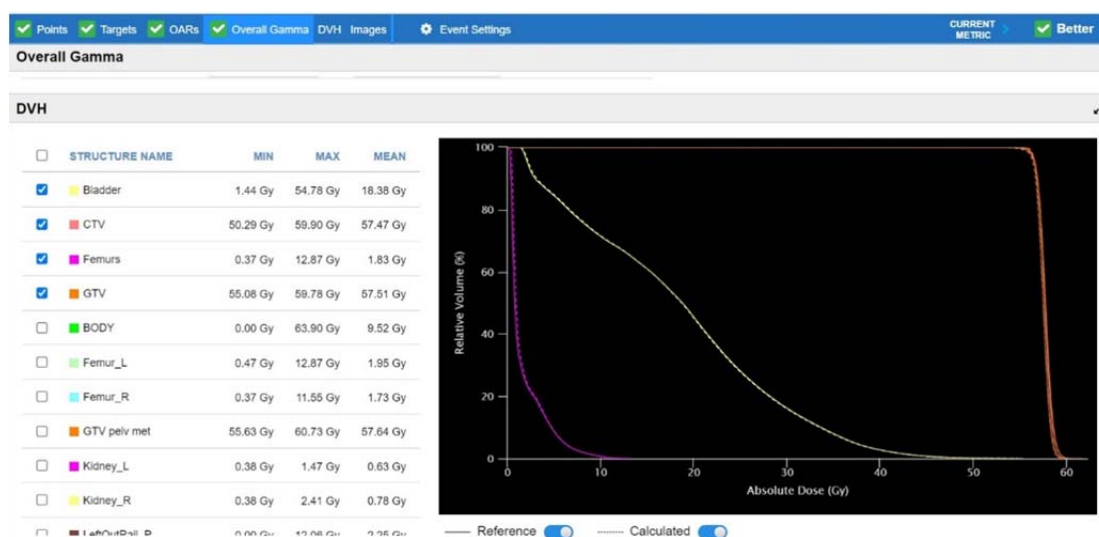


図2 DoseCHECK の解析画面

2. PerFRACTION

SunCHECKの独創的な機能の一つに、PerFRACTION がある。これは、放射線治療装置用 X 線平面検出器 (Electric Portal Imaging Device : EPID)を用いた線量QAシステムであり、被検者の治療中のビームをQAすることができる in-vivo dosimetry が可能である。

一方で、EPIDを用いた線量測定は、課題も多く、線量測定器としての測定法が確立されていないのが現状である^{4,5)}。そこで、PerFRACTIONでは、独自の線量校正技術、Fraction Zero Absolute Dose (FZAD)を持ちいて、EPIDでの線量測定

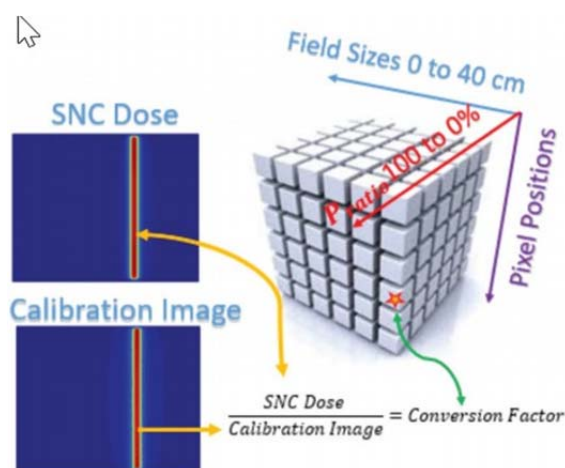
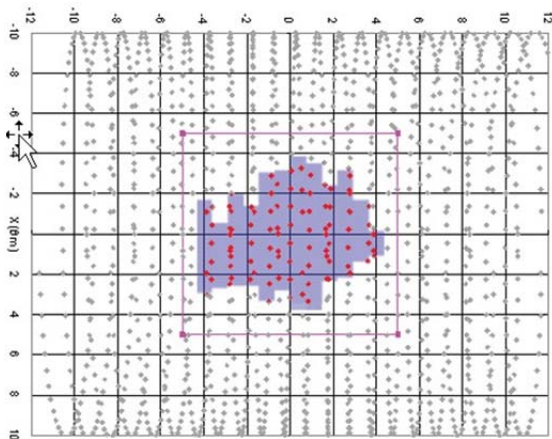


図3 Fraction Zero Absolute Dose (FZAD)の理論図

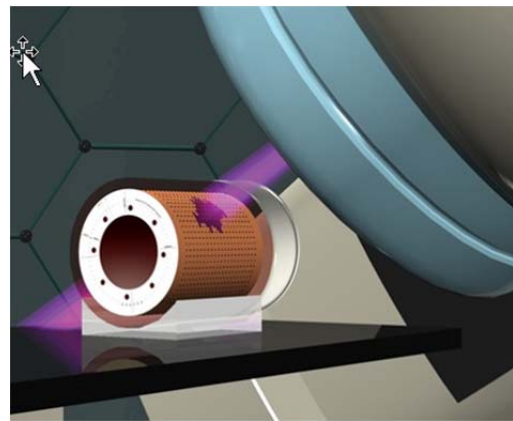
を可能としている。図3に FZADの理論を示す。事前に測定する校正用の image (Calibration image) と SNC での線量計算結果 (SNC Dose) から、3次元の線量分布を求めるために、1ピクセルごとに校正定数を求める。この厳密な校正により、EPIDでの線量測定の問題を克服し、精度の高い EPID測定を実現している。

3. ArcCHECK

高精度放射線治療では、ファントムを用いた線量QAが主流であり、ArcCHECKで可能としている。ArcCHECKは、16kgと軽量で、接続もシンプルでセットアップが容易である。円形のファントムに、世界最多の1386個のN型半導体線量計をらせん状に配置し、どのようなX線ビームの入射角度でもN型半導体素子間で重なりが起こらないように配置されている。また、検出器の感度変化を起こす、ビームの検出器に対する斜入も生じない。この検出器の数と配置によって、精度の高いQAを可能としている (図4)。



(a)らせん状に検出器を配置する独自構造



(b)検出器間の重なり・斜入がない

図4 ArcCHECK の検出器配置

4. Routine と Machine

Routine は、米国医学物理学会 (The American Association of Physicists in Medicine : AAPM) の Task Group (TG)-142 に完全準拠した唯一の QA システムである。TG-142 は、daily、monthly、annual と区分されている。また、それぞれが線量と幾何学的精度の項目から成り立っている。すべての項目を完全に網羅するには、100以上の項目を理解し、測定、検証する必要がある。非常に時間と労力を要する業務となる。SunCHECK では、Routine のプログラムを実行することにより、TG-142 に準拠した QA が可能である。また、Machine は TG-142 の幾何学的な QA に特化したシステムである。治療器の動作を伴う部分である、ガントリー回転、カウチ移動精度などの幾何学的な QA は、線量精度の項目に比べ、経年変化の影響が大きく、定期的な QA が欠かせない。

さらに、Routine では、自施設で追加したい項目を追加可能である。例えば、治療器の冷却水の温度や加速管の真空度などの機器のデータなどを、追加項目として記録でき、施設で特化した QA プログラムにも対応している。これらのすべての QA 過程は、自動化されており、煩雑なデータ取得から解析までの過程を自動で処理する。多忙な臨床現場には、不可欠な機能を搭載している。

さらに、測定デバイスとの接続が可能となっている。精度の高い測定には、信頼ある電離箱検出器、半導体検出器の使用が必要である⁶⁾。日常点検としては、電離箱検出器 13 個、半導体検出器 12 個を搭載し、ビーム出力、対称性、エネルギーなどを同時に測定できる DailyQA3、月例点検などには独

自開発の電離箱検出器251個を搭載した IC PROFILERなどが接続可能である(図5)。

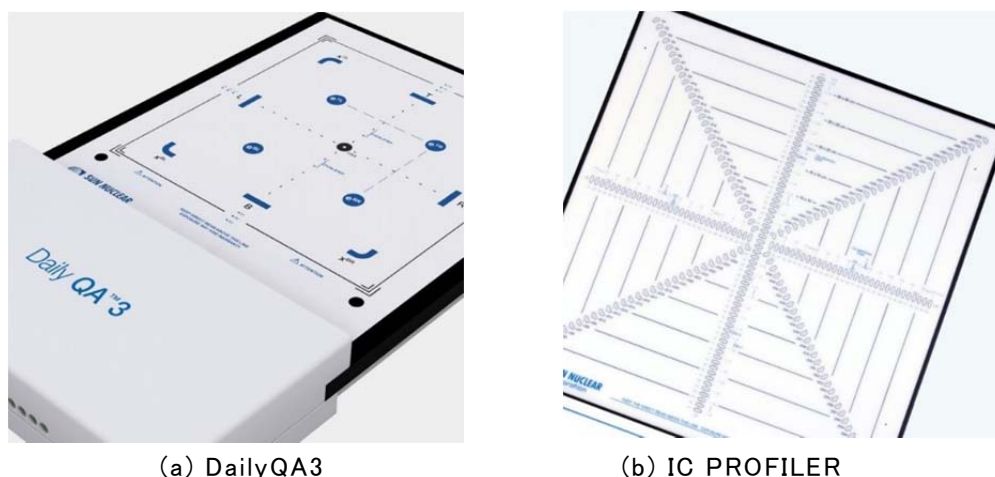


図5 測定デバイス

【まとめ】

総合独立 QAシステム、SunCHECKの技術解説を行った。臨床で求められるQA項目のすべてを実施可能で、多くの工程を自動化している。また、測定器としては電離箱検出器、半導体検出器、EPIDといった、現在の臨床現場で使用されているすべての検出器に対応している。近年の高精度放射線治療に求められるQAは、複雑で、多彩で、しかも精度も求められる。このSunCHECKの登場によって、今まで、検出できていなかった様々なエラーが検出可能となっている^{7,8)}。測定精度、QA精度を担保しつつ、複雑で高度なQAを自動化によって時短を実現したシステムである。QAにとって重要な第三者としての独立性も担保している。本邦の放射線治療の現状を考慮すると、このSunCHECKシステムは、高精度放射線治療を普及する上で、必要不可欠なシステムである。

【参考文献】

- 1) Nakaguchi Y, et al. Comparison of 3-dimensional dose reconstruction system between fluence-based system and dose measurement-guided system. *Med Dosim.*2016 Autumn;41(3):205-11.
- 2) Nakaguchi Y, et al. Validation of a quick three-dimensional dose verification system for pre-treatment IMRT QA. *Radiol Phys Technol.* 2015 Jan;8(1):73-80.
- 3) Nakaguchi Y, et al. Validation of secondary dose calculation system with manufacturer-provided reference beam data using heterogeneous phantoms. *Radiol Phys Technol.* 2019 Mar;12(1):126-135.
- 4) 藤田 幸男. EPID ポータルドジメトリ(線量分布の解析手法と評価方法,第 60 回(横浜)放射線治療分科会シンポジウム). *日放技.* 2010 年 24 巻 1 号 p.10.
- 5) Nakaguchi Y, et al. Development of multi-planar dose verification by use of a flat panel EPID for intensity-modulated radiation therapy. *Radiol Phys Technol* 2013 Jan;6(1):226-32.
- 6) 中口 裕二ら. IMRT 線量検証における二次元検出器間の精度比較. *日放技.* 2012 年 68 巻 4 号 p.443-452.
- 7) Mans A, et al. Catching errors with in vivo EPID dosimetry. *Med Phys.* 2010 Jun;37(6):2638-44.
- 8) Neal B, et al. A clinically observed discrepancy between image-based and log-based MLC positions. *Med Phys.* 2016 Jun;43(6):2933-2935.