

○村上 智洋¹⁾、宮田 真衣¹⁾、林 慎一郎¹⁾、小野 薫²⁾、藤本 幸恵²⁾、近藤 貴裕³⁾、
藤原 郁也⁴⁾、笛吹 修治¹⁾、富永 孝宏¹⁾

1) 広島国際大学保健医療学部診療放射線学科、2) 広島平和クリニック高精度がん放射線治療センター、
3) 広島和恒会ふたば病院、4) JA 尾道総合病院

【背景】近年、IMRT などの高精度放射線治療が行われてきており、マルチリーフコリメータなどの使用により、複雑な照射野が用いられ、ビーム強度や線量率も多様に変化しながら照射されている。このため、より高精度な QC・QA が求められている。また、放射線治療計画に用いられる三次元線量分布は複雑であるため三次元吸収線量分布を直接評価することができるポリマーゲル線量計は今後の品質管理や治療計画の精度向上に期待されている。

【目的】昨年までの実験結果から、試験管ファントムにより得られた校正曲線から評価される、異なるサイズのゲルファントムに対する吸収線量は過大評価される傾向があった。そこで作製したゲルをサイズの異なる容器に分け、容器サイズの違いにより同一線量照射した際、MRI の T_2 緩和速度 ($R_2 = 1/T_2$) にどのような影響が現れるか調べた。

【方法】まず、増感剤として $MgCl_2$ を含む一般的な PAGAT タイプのゲル¹⁾ を作製し、このゲルを 10 mL ガラス試験管 ($\phi 18\text{mm}$)、110 mL ガラスバイアル ($\phi 40\text{mm}$)、1000 mL アクリルキューブ ($10 \times 10 \times 10\text{cm}^3$) それぞれに封入した。試験管ファントムとバイアルファントムは $10 \times 10 \times 10\text{cm}^3$ のタフウォーターファントムに挿入し、アイソセンターを 5 cm 深として 6MV X 線を 2, 4, 6, 8, 10 Gy、400 MU/min で照射した。アクリルキューブファントムはアイソセンターを 5 cm 深として 4 Gy のみ 400 MU/min で照射した。照射されたゲルは 0.3T の MRI を用いて、マルチスピンエコー法にて撮像し、 T_2 緩和速度 (R_2) を求めた。

【結果】まず、容器のサイズの違いによる R_2 の差異を調べるため、それぞれの容器にゼラチン溶液を充填して測定した場合の R_2 の値を図 1 に示す。グラフの青色(左)が 10 本の試験管 (tube)、緑色(中央)は 7 本のバイアル (vial) を示しており、試験管とバイアルはそれぞれ容器の中心の R_2 値である。赤色(右)は 1 個のキューブ (cube) における中心断面内の任意の 9 点の R_2 値を示している。容器ごとの R_2 の値はある程度のばらつきはみられるがその差は比較的小さく、また、コイル内の位置による R_2 の変化も小さかった。

次に照射したゲルを MRI で撮像して求めた R_2 の容器別の線量 - R_2 応答を図 2 に示す。試験管に比べてバ

イアルでは 20% 程度の R_2 の増加が見られたが、バイアルとキューブの差はほとんどみられなかった。

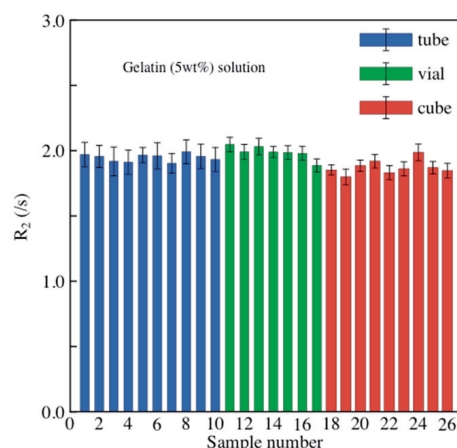


図 1 異なる容器における R_2 の差異

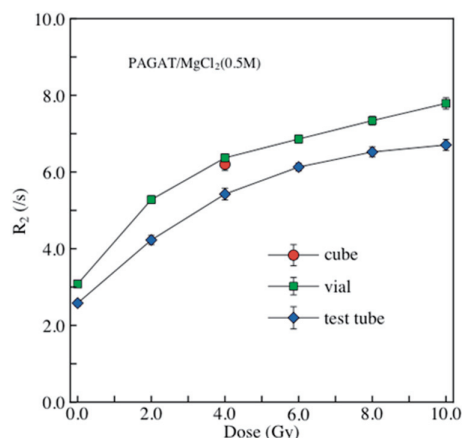


図 2 異なるサイズの容器に対する線量 - R_2 応答曲線

【結論】 これまでは試験管サイズの容器を主に使用していたため、試験管サイズを基準として考え、容器サイズが大きくなった場合の R_2 値は過大評価と考えられていた。しかし今回の実験結果より、定量的な線量評価には同じサイズの容器を用いるか、 $\phi 40\text{mm}$ バイアル程度以上の容器サイズを用いることが望ましく、試験管サイズの R_2 値は逆に過小評価であるのではないかと考えられる。

【参考文献】

- 1) S.Hayashi et al., 2013, "Comparison of the influence of inorganic salts on the NMR dose sensitivity of polyacrylamide-based gel dosimeter" *J. Phys.: Conf. Ser.* **444** 012094 (4pp)

○松田 彩香¹⁾、井上 健太¹⁾、林 慎一郎¹⁾、小野 薫²⁾、藤本 幸恵²⁾、近藤 貴裕³⁾、
藤原 郁也⁴⁾、笛吹 修治¹⁾、富永 孝宏¹⁾

1) 広島国際大学保健医療学部診療放射線学科、2) 広島平和クリニック高精度がん放射線治療センター、
3) 広島和恒会ふたば病院、4) JA 尾道総合病院

【背景】近年、強度変調放射線治療 (IMRT) 等、高精度の放射線治療が行われてきている。IMRT 等では照射野の形状や線量の強度が複雑に変化するため、より高精度な検証が必要になる。通常、電離箱線量計やフィルムなどを用いて線量分布の評価が行われているが、複雑な線量分布を3次的に直接評価するために、ポリマーゲル線量計が注目を集めている。

【目的】今回の研究では、照射野サイズを変化させることで線量応答に対する照射野サイズの影響を調べた。電離箱線量計による測定では小さい照射野では線量を過小評価する傾向があることが知られているが、ポリマーゲル線量計ではどのように評価できるかを比較した。

【方法】ゲルは、増感剤として $MgCl_2$ を添加した PAGAT タイプのもの¹⁾ を作製し、直径 40 mm、容量 110 mL のガラスバイアルに入れ、 $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ のタフウォーターファントムに挿入して 6MV X 線で照射した。まず、照射野サイズの影響を見るため、線量 (MU 値) を一定にし、照射野を 5×1 , 2×3 , 5 cm^2 と変化させて照射を行った。線量は、5 cm 深で 4Gy になるようにした。また、線量 - R_2 応答曲線を作成するために、照射野を $5 \times 5 \text{ cm}^2$ の一定にし、線量は 5 cm 深で 1, 2, 4, 6Gy となるように照射した。電離箱線量計の測定では、ポリマーゲル線量計の測定と同じタフウォーターファントムを用いて照射した。

照射後、1.5T MRI を用いて 2 エコー ($TE_1 = 20$, $TE_2 = 250 \text{ ms}$) で撮像を行い、横緩和速度 ($R_2 = 1/T_2$) を求めた。

【結果と考察】照射されたバイアルの長軸方向の R_2 プロファイルを図 1 に示す。照射野の幅が小さくなるにつれてビームプロファイルの幅も狭くなっていることがわかる。

図 2 は、 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ の照射野での応答曲線である。各プロファイルの中心における R_2 値と応答曲線をもとに、Output Factor (OPF) を求めたものを図 3 に示す。ここでは $5 \times 5 \text{ cm}^2$ を基準照射野とした。

図 3 より、照射野が 5×5 , 3×3 , $2 \times 2 \text{ cm}^2$ のときは電離箱線量計、ポリマーゲル線量計ともに照射野が小さくなるにつれて OPF は小さくなっているのがわかる。 $5 \times 1 \text{ cm}^2$ の時も同様の傾向を示しているが、電離箱線量計の OPF の値とポリマーゲル線量計の値に不一致が見られる。この理由として、未照射部との境界近傍で過

剰な反応が生じるエッジ効果の可能性が考えられるが、より詳細な考察は今後の検討課題である。

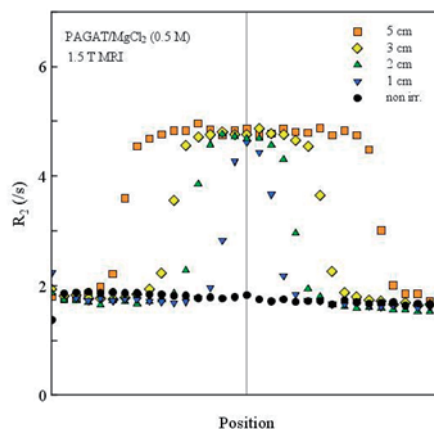


図1 軸方向のビームプロファイル (R_2 分布)

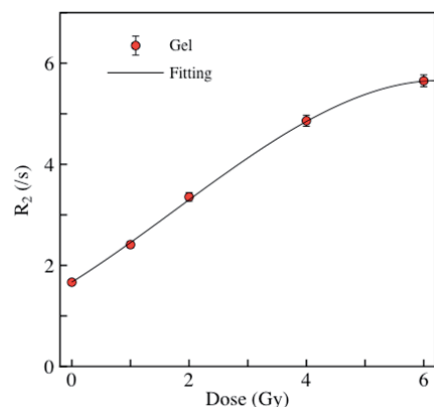


図2 線量 - R_2 応答曲線

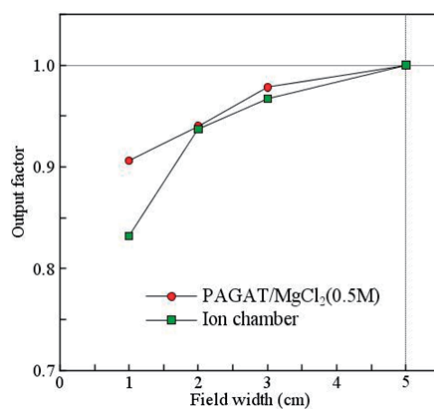


図3 OPF

【参考文献】

- 1) S.Hayashi et al., 2013, "Comparison of the influence of inorganic salts on the NMR dose sensitivity of polyacrylamide-based gel dosimeter" *J. Phys.: Conf. Ser.* 444 012094 (4pp)

○藤本 幸恵¹⁾、小野 薫¹⁾、林 慎一郎²⁾、廣川 裕¹⁾、宮沢 正則³⁾

1) 広島平和クリニック 高精度がん放射線治療センター

2) 広島国際大学保健医療学部診療放射線学科

3) アールテック有限会社

【背景】ポリマーゲル線量計は、放射線照射によるビニルモノマーのラジカル重合反応を利用した化学線量計であることから IMRT 線量検証において三次元線量分布を直接計測できるため、その有効性が期待されている。

【目的】IMRT 線量検証におけるポリマーゲル線量計の有効性を検討するために、基礎特性である線量率と積算照射の影響を調べることである。

【方法】ポリマーゲル線量計は、Fig.1に示す自作のMAGATゲルと増感剤を添加したPAGAT/MgCl₂ゲルを使用した¹⁾。Fig.2に示すように、水等価キュービクファントムに直径4cm、110mLのゲルファントムを挿入して、当院の直線加速器 Novalis Tx (Varian/BrainLAB) を使用し、6MVのX線を5cm×5cm²照射野で照射した。まず線量校正曲線を作成するため、ゲルファントムに1から6Gy照射した。次に線量率の影響を調べるため、2Gyを100から600MU/minに変化させて照射し、最後に積算照射の影響を調べるために、2Gyを1、2、4、8回に分割して、それぞれ1分間隔で照射した。線量評価にはMRI装置SIGNA Excite HD 1.5T (GE Healthcare) によりT₂緩和速度(R₂ = 1/T₂)を求めた。得られたT₂画像から、Image Jを用いてR₂ map (Fig.3)を求め、解析を行った。MRIの撮像条件はマルチスピンエコー法でMAGATゲルはTE1:20ms、TE2:100ms、PAGAT/MgCl₂ゲルはTE1:20ms、TE2:250msに設定した。



Fig.1 Polymer gel.



Fig.2 Water-equivalent phantom.

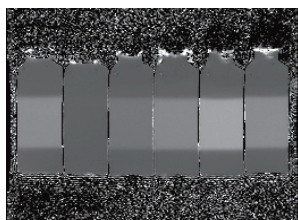


Fig.3 Rmap.



Fig.4 Gel samples irradiated with X ray and a non-irradiated sample.

【結果】Fig.4に照射後のゲルの画像を示す。Fig.5は線量校正曲線の結果で、横軸は線量、縦軸はR₂を示す。黒丸はMAGATゲル、白丸はPAGAT/MgCl₂ゲル

で両者とも線量とR₂には相関があることがわかる。通常、標準のPAGATゲルとMAGATゲルでは感度差は約20倍あるが、今回作製した増感剤を添加したPAGAT/MgCl₂ゲルとMAGATゲルでは感度差は約5倍まで改善されている。このように我々の研究グループではPAGATゲルの良い線量応答特性を損なうことなく線量感度の改良に成功している^{1,2)}。Fig.6は線量率の影響の結果で、横軸が線量率、縦軸が400MU/minを基準としたR₂の相対値を示す。PAGAT/MgCl₂に対してMAGATゲルは低線量率でR₂の顕著な増加が見られた。Fig.7は積算照射の影響の結果で、横軸が分割回数、縦軸が1回照射を基準としたR₂の相対値を示す。MAGATゲルは分割回数に依存してR₂の顕著な増加を認めたが、PAGAT/MgCl₂ゲルでは顕著な増加は認めなかった。以上のことから、PAGATゲルは感度は低いものの、照射条件に対する安定性が高いことが分かった。

【結語】MAGATゲルは線量率と積算照射の影響を顕著に認めたが、増感剤を添加したPAGAT/MgCl₂ゲルはその影響が小さくIMRTの線量分布評価において有効と考えられる。

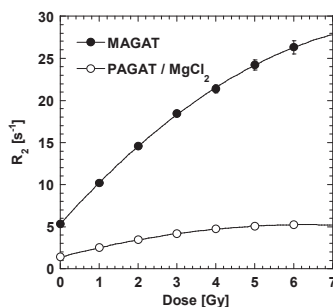


Fig.5 Dose response (R₂).

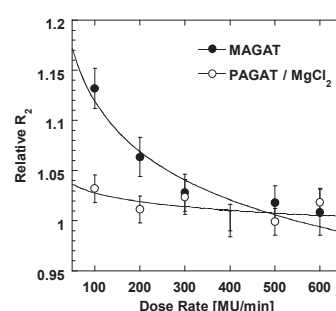


Fig.6 Relative R₂ response for dose rates.

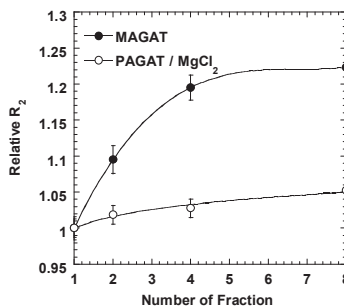


Fig.7 Relative R₂ response for Number of fraction.

【参考文献】

- 1) S.Hayashi et al, J. Phys.: Conf. Ser. **444** 012094 (2013)
- 2) S.Hayashi et al, Radiat.Phys.Chem. **79** 803-808 (2010)

○湯浅 勇紀¹⁾、川村 慎二¹⁾、椎木 健裕²⁾、上原 拓也¹⁾、小池 正紘¹⁾、神崎 竜二¹⁾、
澁谷 景子²⁾

1) 山口大学医学部附属病院 放射線部

2) 山口大学大学院 医学系研究科 放射線治療学分野

【Introduction】 Radiochromic film has been used to verify the dose distribution verification in radiation therapy. In quality assurance (QA) for intensity-modulated radiation therapy (IMRT), the film was inserted to the phantom with axial, sagittal and coronal directions. In our institution, GAFCHROMIC[®] EBT3 (EBT3) was used in QA for IMRT. In QA, there were differences of gamma pass rates between axial and sagittal direction. The purpose of this study was to evaluate the direction dependence of EBT3 with some fundamental experiments.

【Methods and materials】 In this study, EBT3 (product number A03181301, IPS) was used. Films were inserted into water equivalent phantom (RT3000-New, R-tech). The phantom was set with source-axis distance (SAD) of 100 cm. Irradiation was performed with 10MV photon beam of field size $8 \times 8 \text{ cm}^2$ from Linac (MHCL 20DP, Mitsubishi Electronics). Irradiation dose was 200 MU and dose rate was 300 MU/min, respectively (fig.1 (a)). Pixel values of EBT3 were measured using flat-bed scanner (ES-10000G, EPSON). First, films were positioned perpendicular to the beam axis. Those were inserted into the phantom at the distance of 2.5 to 16.5 cm from the phantom surface (Fig.1 (b)). Film positions were 16 points, and films were irradiated at each distance. Percent depth dose (PDD) and off-center ratio (OCR) were measured by each film. Second, film was positioned along the beam axis. The phantom was irradiated in the same conditions (Fig.1 (c)). The PDD and the OCR at each distance were calculated from irradiated film. Finally, absolute dose was measured at the distance of 3.5 to 13.0 cm from the phantom surface using

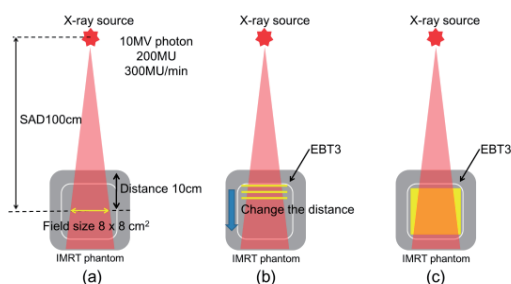


Fig.1 (a) Experimental setup
(b) EBT3 positioned perpendicular to the beam axis
(c) EBT3 positioned along the beam axis

chamber. The PDDs and the OCRs obtained from the each film were compared.

【Results】 Figure 2 shows the PDDs in the direction perpendicular to the beam axis and along the beam axis. The relative dose differences between two PDD curves were increased with the increasing distance from the phantom surface. At the distance of 12.9 cm from the phantom surface, the difference was 7.5 %. The OCR curves of each direction were almost same in total dose region at 10 cm from the phantom regardless of the film direction (Fig.3 (a)). In the case of 12.9 cm distance, OCR positioned along the beam axis was slightly higher than OCR positioned perpendicular to the beam axis in low dose region (under 20 %) (Fig.3 (b)).

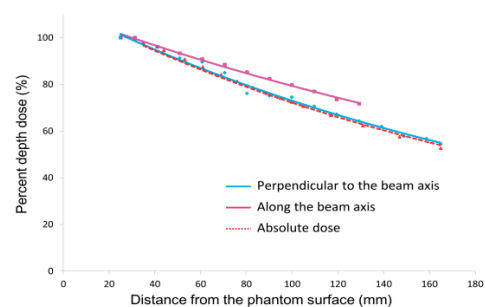


Fig.2 PDD in each direction of the films

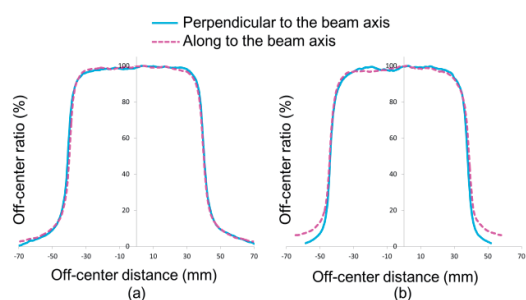


Fig.3 OCRs at each distance from phantom surface
(a) OCR at depth of 10 cm.
(b) OCR at the distance of 12.9 cm

【Conclusion】 In this study, we evaluated the direction dependence of EBT3 with some fundamental experiments. The PDDs and OCRs showed difference results in the direction. The film direction affected to PDDs and OCRs. From here onwards, we suggested that EBT3 has the direction dependence. In QA for IMRT, considering the effect of the direction dependence, we should avoid the use of EBT3 positioned along the beam axis.

フィルム線量分布検証における MLC を利用した 基準マークによる線量分布位置合わせ手法に関する検討

○中山 真一¹⁾、溝手 里花¹⁾、大西 佑一¹⁾、門前 一²⁾¹⁾、金重 総一郎¹⁾

1) 社会医療法人 鴻仁会 岡山中央病院

2) 京都大学大学院医学研究科 放射線腫瘍学・画像応用治療学

【背景】 線量分布検証において、フィルムは多次元検出器と比べて高い空間分解能を有する一方で、治療計画装置 (RTPS) の分布との重ね合わせ時に QA 担当者の主観性に委ねられ、解析結果にばらつきが生じる。

【目的】 本検討ではフィルム検証における客観性の向上を目的として、MLC を用いてアイソセンタを示す基準マークを照射し、RTPS との分布の重ね合わせに利用する方法を考案、その精度を検証する。

【方法】 使用装置は Vero4DRT (MHI)。ラジオクロミックフィルムは EBT3 (ISP)、検証用ファントムは RT-3000-New (R-Tech) を用いる。解析ソフトウェアは DD-System (R-Tech) を用いる。

MLC によるマーキング手法：Film 検証の直前もしくは直後に、Coronal 面はガントリ 0°、Sagittal 面は 90° から、1mm 程度のスリット状の照射 (500MU) を行う。

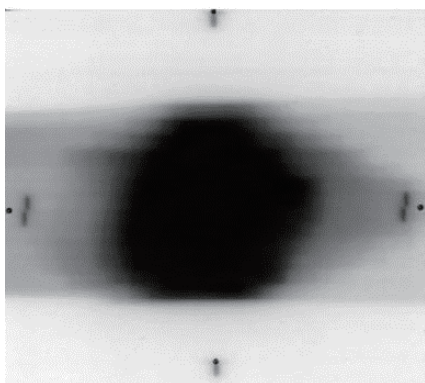


Fig.1 MLC マーキング照射を実施したフィルム

検証1： マーキング照射時の MLC 透過線量による Film への影響を確認する。ファーマ型電離箱 PTW 30013-Farmer (PTW) と EBT3 を用いて、MLC 全閉時とマーキング照射時の透過線量を比較する。

検証2： 前立腺 IMRT テストプラン (6症例) を対象とし、EBT3 を用いて Sagittal 面について全門検証を行った。ガンマ解析を同一フィルムに対して5回繰り返し行い、Pass 率の比較を行った。フィルム位置合わせの比較対象として、本法 (MLC IC) の他、ファントムに施したピン加工による基準マークを用いる手法 (Phantom IC)、等線量曲線を基に任意の位置に合わせる手法 (Manual) を用いる。

【結果・考察】 MLC 全閉時とマーキング照射時の透過線量の差異は 0.02% であった。500MU のマーキング照射による MLC 透過線量によるかぶりの影響は、電離箱・フィルムともに 0.2% 程度であった。フィルムスキャン時の読み取り誤差の影響に埋もれるほどであり、解析結果からも Inter-/Intra-leaf transmission の影響は確認できなかった。

位置合わせに用いる3方法の間で Pass 率の平均値に 1~2% の差異がみられる。

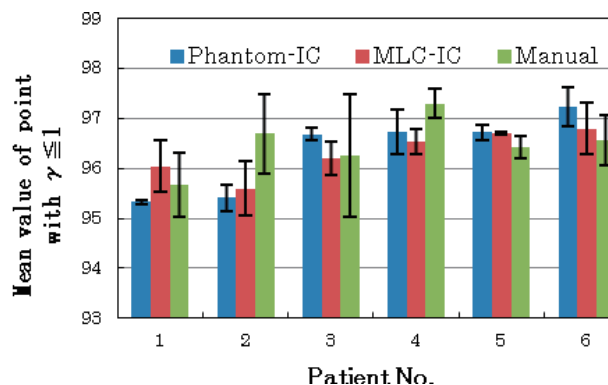


Fig.2 ガンマ解析結果 (2mm/3%, ≥40%Dose)

Vero4DRT の MLC はリーフ高が 11 cm であり、MLC 透過線量の影響が非常に小さい。

Phantom IC 法では、レーザーの示す IC が基準となるが、レーザーの日々の QC 状況や QA 担当者のセットアップの影響を払しょくすることはできない。

MLC IC 法を用いることで、MLC のマーキングを行う一方向からではあるが、照射系中心を示すことが可能であり、レーザーのずれやファントムのセットアップの影響を回避することが可能である。また、特殊な QA 機器を必要とせず、他社製リニアックでも簡易に実施できる可能性がある。

【結論】 MLC を用いたマーキングは、特殊な加工ファントムを必要としない簡便かつ実施可能な手法である。