

Bucky グリッド法による X 線絞りの歴史

History of diaphragming roentgen rays by use of the Bucky principle

Potter HE. *Am J Roentgenol* 25:396-402, 1931

現在のようなグリッド装置の段階的な進化について、今日の若い放射線科医に、Coolidge 管、両面乳剤フィルム、蛍光板以前の研究者が遭遇した困難を分かりやすく説明できる資料はない。1913 年の Bucky の発表まで、X 線診療に携る者は皆、散乱線の影響を認識してこれを忌避してはいたものの、その成因は X 線管の特性によるものと考えていた。本誌の後続論文の背景知識として、また Bucky の業績を何かと軽んじる傾向のあるドイツの人々への情報源として、歴史的に概観するは意味のあることであろう。

当時の物理学者は、物質内における散乱線の存在、その方向性、特性について既に知っていたが、放射線科医は乾板のかぶりは X 線管にあると考え、「焦点外 X 線」「ガラス壁 X 線」「逆電流」などが原因と考えていた。このような邪魔な X 線の減弱を目的として開発された興味深い装置のいくつか見てみよう。

1. X 線管の下に置く円形、方形、その他単純な形状の絞り。その後、Albers-Schönberg が開発したような鉛で覆った撮影筒 (cone) と組合わせて使用された。Albers-Schönberg の撮影筒は、被写体を圧迫して動きを抑制したり、体厚を薄くすることにも使われた。Hickey らは、その効率をさらに高めた特別な撮影筒を開発した。

2. Pirie の「移動間隙法」(moving slot)[3]。細長い間隙をもつ鉛板を X 線管の下で移動させ、短冊状の細い X 線束が X 線フィルムを上から下まで移動するもの(本誌 1913 年 9 月号)。

3. Cole の「二重間隙法」(double slot)。より大きな間隙をもつ 2 枚目の金属板を患者の下に置き、上部の Pirie の間隙板とともに移動して、乾板に直接線以外の X 線が当たらないするもの。

4. 筆者の考案になる「移動グリッド」(moving grid)。X 線管の下で振動するもの。1915 年冬の Detroit における学会で発表 [4]

5. Coolidge の「フード付きターゲット」(hooded target)。焦点周囲の金属遮蔽によって、焦点外 X 線を減弱して X 線管効率が数%改善するというもの。

フィルムのかぶりの除去を目的とするこれらの装置は無効とは言えないが、その効果については誤解されていた。X 線束の幅をいくら絞っても、より大きな線束で励起される体内から発生する散乱線を減らすわけではないので、フィルムのかぶりを減弱できないとい

うことが理解されていなかったのである。X 線管の下に置いた絞りの効果を初めて定量的に評価したのは、1922 年 1 月の Wilsey の論文である [10]。ここでは例えば、直径 1.5 インチの画像が得られる円形の絞りとして、患者の下に置くスリット比 1:5 のグリッドは、散乱線除去効果において等しいことが示されている。通常の撮影条件下では、この円形開口部は直径 1/4 インチよりやや大きい程度である。

Gustav Bucky が Archives of the Roentgen Ray の 1913 年 6 月号に英文で発表した報告 [→訳注] におけるフィルムのかぶりと散乱線に関する新説は、放射線科医にとっては画期的であった。これは「被写体の二次線を除去するグリッド型絞り」と題するもので、その本文中で彼はこの装置を Gitter-Blende (格子状絞り) と称している。記述は以下のように続く。

「これは、幅 2 ～ 4cm の金属板をグリッド状 (格子状) に、金属板の平面が X 線と正確に平行になるように並べたものである。この板がスクリーンとなって一次 X 線を通させるが、これと平行でない光線はすべて除去される。写真乾板上には、この板の陰影が細い線として、金属の網を広げたように見える。この網のそれぞれのメッシュが微小な絞り円筒の役割を果たしており、それぞれは非常に短いので写真の質に大きく影響することはない。この「グリッド型絞り」(Gitter-Blende) は完全に満足なものであることが分かり、かぶりが被写体由来の二次線によるものであるという私の説の正しさが証明された。このグリッド型絞りをを使って乾板から 4cm 離れた被写体を撮影すると、乾板と被写体を密着させてグリッドなしで撮影するよりずっと鮮鋭な画像が得られた」

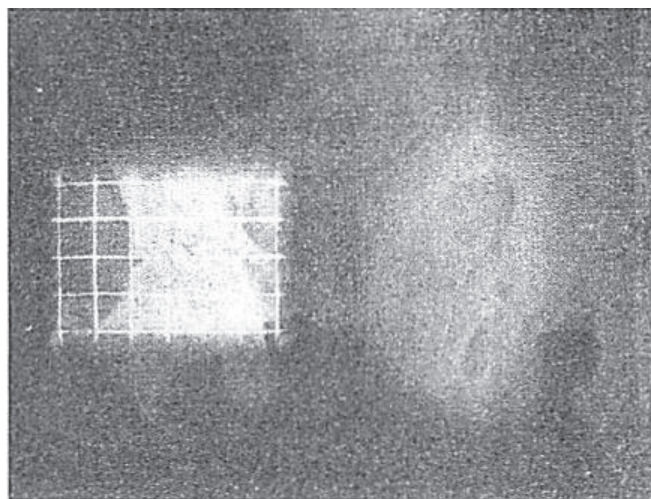


図 1. Arch Roent Ray, June, 1913 [訳注: Bucky の論文。大きな乾板の一部にグリッドを置いて撮影したもの。グリッドのないところは全体にかぶっている。]

さらにこう述べている。

「写真にうつる白い線は決して欠点ではなく、むしろ逆で、さまざまな臓器を正確に計測するために利用できる。この絞りを使うと、露光時間が約 25% 延長することを付記しておく。」

アメリカの放射線科医は、これが X 線写真における散乱線の役割に関する初報で、Bucky グリッドの金属壁で明らかに吸収されたことによりこのことが証明されたものであると考えてきた。私も、グリッド開発の経緯に関する著作、伝聞には詳しいつもりであるが、アメリカでこの 1913 年の Bucky の報告に先行するものは知らない。

しかし Bucky のグリッドは、実際の X 線撮影に使われることはなかった。その後、あちこちの物好きな放射線科医の実験用ガラクタの山の中に埋もれていたのである。確かにこのグリッドで実験すれば、有害な二次線の成因とその抑制法を確認することはできたが、グリッド自体の陰影が写り込むことは許容しがたい問題であった。1914 年夏、ドイツでは戦争が始まり 1918 年 11 月まで続いた。アメリカでは Bucky とそのグリッドについて耳にすることはなくなった。

1913 ~ 17 年、私は Bucky の方法をルチーン検査に利用できるようにグリッドの改良を目指して設計、実験を行っていた放射線科医のひとりであった。私の研究の軌跡を簡単にまとめると次のようになる。

1915 年 2 月、American Roentgen Ray Society (ARRS) 中央部会の Detroit 大会で、Bucky 型の円筒状格子を X 線管の下および患者の下に同時に置く方法を発表した。両者は正方形の対角線上あるいはほぼ対角線上を平行して移動するようになっており、このように動かすことによって、金属格子の邪魔な陰影を最小限とすることができた。同時に移動グリッドの陰影を X 線乾板上で見えなくするための、5 つの一般法則を提示した。これは本誌 1916 年 3 月号に「X 線絞り」として発表した [4]。

1916 年 9 月、Chicago の ARRS 年次大会で、第 2 報として「Bucky 絞りの透視への応用」を報告した [5]。これは、薄板を放射状に配置したまわり円板を回転させる方法を論じたもので、患者と蛍光板の間にこれを置いて適切な速度で回転すると、その辺縁部が散乱線を吸収し、金属板の陰影は動きによってあまり邪魔にならない。

1917 年 2 月、Cincinnati の ARRS 中央部会冬季大会が開催された。それまで長期にわたって困難な実験を続けて来た私は、X 線撮影については金属交差格子をすべて放棄し、基本的な不可視条件を満たす平行格子のみを使うことにした。「X 線撮影における被写体からの二次線 — その実際の抑制法」という演題を発表

し [6]、現在も使われているような平行板の彎曲したグリッドと、体格の良い被写体を撮影した十数枚の写真を供覧した。以下にこの発表から、導入部と重要な部分を省略して数節を引用する。

「周知の Bucky グリッドは、金属の小管を乾板の上に並べたもので、非常に効果的である。前述の通り、グリッド自体の不都合な陰影は対角線方向の均一な運動でほぼ除去できる。Bucky の交差グリッドでは、運動によってそれ自体の陰影を完全に中和することができないことは、露光中の金属板の不可視条件の法則から明らかである。以来筆者は、他の構造と運動の組み合わせに関する一連の実験を行なって、完全な不可視状態で素晴らしい Bucky 格子のすべての機能が得られるかどうか実験し、これに成功した。

先の年次大会で Shearer 博士が発表した、さまざまな金属グリッドの状態下に散乱線だけによる画像を写真に撮影する一般的な方法を使って、Bucky グリッドを、交差せず密に平行に並べた一連の金属板フィルターと比較試験した。意外なことに、平行グリッドにより抑制される X 線の量は、Bucky の交差グリッドとほぼ同じであり、平行グリッドの方がはるかに密なものを製作しやすい。薄い 1 インチ幅の真鍮板を 1/4 インチ間隔で配置すると、その実効的な効果は 1/16 インチ間隔の場合と同程度に良好である。以上の結果は、金属板を円筒壁状に配置した平行グリッド構造の正当性を示すもので、不可視性の観点から非常に重要な点である

これに基づき、図 A、図 B のような考え方による装置を製作した。金属フィルター板は円筒壁の一部として放射状に配置し、運動はこの円弧に平行、金属板とは垂直方向とした。この構造では、広範囲を照射することができ、均一な動きによって金属板の陰影が中和され、不可視性に求められるすべての条件が最も簡単な方法で満たされることが容易に理解できる。

運動は均一でなくてはならないが、急速である必要はない……毎秒 1/2 インチで 5 秒間……1 回の運動中に露光が完結しなくてはならない。

結果：腰椎、股関節、骨盤、特に結石の描出において非常に満足な結果が得られた。描出が難しい体格の良い患者数例の小さな尿路結石において、このグリッドを使用した結果は筆舌に尽しがたいほど優れたものであった。頭蓋内骨腫瘍の 1 例では、腫瘍内の海綿状構造が明瞭に描出できた。本論文執筆時点で胆石の症例にはまだ恵まれていないが、この領域における有用性についても疑念のないところである。さらに改良して移動範囲、移動速度の大きい装置を作れば、消化管撮影にも有効であろう」

本研究は学会で発表した、その後まもなく Eugene Caldwell 博士が Kansas への途上、我々のところに立

ち寄せられたことから論文にはしなかった。訪問に際してグリッドの問題について話が及び、Caldwell 博士が当時風聞があった彼自身の実験に関する情報を進んで提供してくれることを期待して、自分の彎曲平行グリッドの最終開発を含めて実験結果をすべて話した。彼は沈黙を守っていたが、私は彼に先んじようという密かな野望をいだいて、彼がどのような結論に達しているのか、率直に訊ねる手紙をすぐに送った。すると次のような、かなり詳しい返信があった。

1917 年 3 月 8 日
Hollis E. Potter 博士

1-2 日前に届いたばかりの 2 月 27 日付のお手紙への回答として、私は Bucky の発表の直後に、グリッドの陰影を消すためにグリッドを移動するアイデアを思いつき、その方向で少し実験を始めたことをお伝えしなければなりません。同時に特許を検索し、Bucky 自身がこの目的にスクリーンを移動するあらゆる可能な方法について記述していることを知りました。また、貴殿が使用したのと同じような移動グリッドの特別な形をカバーしたドイツの特許も見しました。このドイツの特許の写しは入手できませんが、Bucky が 1914 年 2 月 3 日に申請したアメリカの特許、および私が 1915 年 10 月 12 日に申請した特許をお送りします。ご覧のように私の特許は、タイムスイッチを接続した自動装置で Bucky グリッドを非常に狭い範囲で移動させるものです。私の特許は貴殿の仕事とは無関係ですが、Bucky の特許は貴殿の仕事をすべて包含しています。

貴殿が既存の仕事を繰り返したいということであれば、この特許の存在は貴殿の実験を何ら妨げるものではないと私は思います。このような場合、既存の業績を特許庁で調べることは容易なことです。我々は自分の研究を発表する前に調査すべきことだと思います。

私は自分の特許に対する批判に若干なりとも気を尖らせ

ています。批判の多くは無知によるものだと思いますが、悪意のこもったものもあります。私の全ての特許の目的は、期日を確実にして優先権を示すことにあります。特許庁が私に特許を与えたものはすべて、私独自のものであると考えています。私が新しく自分のオリジナルと考えていたものについて、特許庁が実際は非常に古いものであると教えてくれた場合も多々あります。

X 線装置に関する特許から経済的利益は得られません。開発、実験のコストすら回収できません。少なくとも理論的には、何か有用なものを開発した場合、その特許をとることによって同僚を益することができます。装置メーカーがそれを適切に製造するように主張できるとともに、特許がとれば自分で販売できなくともメーカーに製造を促すことが容易になるからです。特許をとるのは、同僚がその装置を使えないようにするためだとか、同僚から特許料をとって財を成すためだとかいう非難はもちろん馬鹿げたことです。非常に簡単な装置であっても、それを開発するための労力、費用はめったに評価されないものです。

E. W. Caldwell

私はこの手紙と同封された 2 つの特許を読んで驚き、多少なりとも困惑した。訪問時に Caldwell が沈黙を守っていたのは、生来の寡黙な性格だけではなく他人の感情を傷つけたくなかったためであろう。手紙と特許を詳しく読んでわかった興味深い点は、少なくとも 3 人の研究者がほぼ同じ道を辿って同じ地点に到達していたということである。それまで Bucky が運動によるグリッド不可視化のアイデアを持っていたことは聞いたことがなく、Caldwell が Bucky グリッドの原理に基づく研究をしていることも風聞で知っているだけであった。

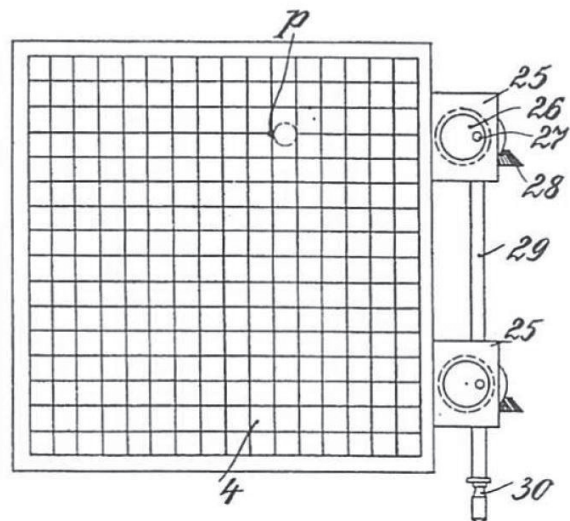


図 2. Bucky の移動交差グリッドの構造。ハンドル (30) を動かすとシャフトとギアを介して偏心器 (26) が動き、グリッドが直径 p の円周運動をする。

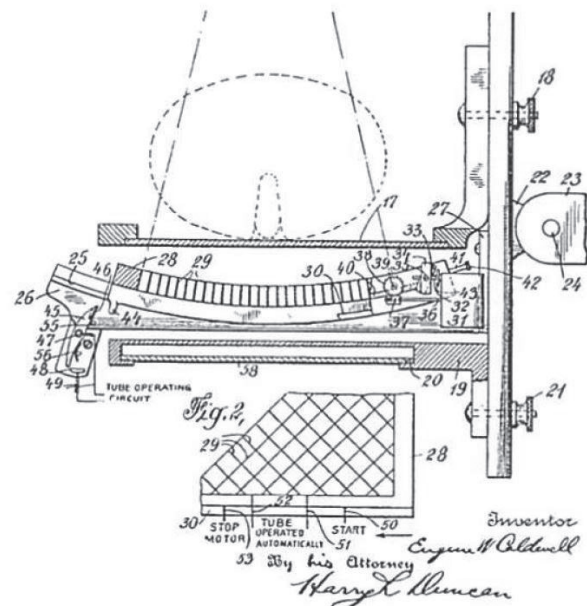


図 3. Caldwell の移動交差グリッドを対角線状に動かす開始／停止機構

このようなことが明らかになった以上、戦争が終わるまでグリッドについてこれ以上話したり書いたりすることがフェアでないことは確かであった。実験を継続して装置を完成することはできたが、Bucky にはその実験結果や実際の装置を発表する機会が与えられるべきであった。Caldwell にもその研究を発展させる機会が与えられるべきであった。

Bucky の特許の請求範囲はかなり広範なものであったが、特に交差グリッドが最も有効とするところに力点があった。このグリッドを動かす詳細なメカニズムを示して「上記のグリッドの各点が円周状の軌跡を描くようにする」と述べ、特に移動運動する円周の直径をグリッドの最小方形の一辺の長さに等しくするとしている。彼は、他の構造のグリッドについても言及して請求範囲を拡大しており、適当な運動によってグリッドの陰影を消去できると包括的にみなしている。交差グリッドの円周運動により不可視性が得られることは証明しておらず、「運動速度は、グリッド壁が写真乾板あるいは蛍光板に可視陰影を作らない程度でなくてはならない」とざっくり述べているが、それに必要な速度については書かれていない。

Bucky がその特許に、このグリッドを使用して本当に「不可視性」が得られることを示す実験結果を添えていないことは残念である。この特許はほとんど全てをカバーする広い表現で記述されているように思えたが、オーストリアの特許裁判所は、その範囲は詳細が記述されている蜂窩状構造に限定されると判断している。

Caldwell も交差グリッドを採用したが、対角線方向に線形運動させる方法を選び、グリッドを運動開始点から 1 つあるいは複数の対角位置で停止させる装置のオリジナリティーを主張している。彼によると、これによって乾板全体にわたってグリッドの陰影が均一になるとしている。この「開始／停止」装置は、「開始」で X 線回路をオンに「停止」で回路をオフにするように組込まれていた。

1917 年 3 月 8 日、かくして私は特許に関する情報不足に関して Caldwell に叱責されたのであった。最新の実験的進捗については、通常の医学文献、放射線関連文献ではなく、法的な窓口をたずねる必要があった。特許を読んだことも、弁理士と話したこともなく、この方面の勉強をしたこともなかった私は、別方向の研究に転じたが、平行グリッドをスムーズに運動させる方法を完成させる研究にも時折立ち返った。運動をスムーズにする油圧機構を備えた初の 14 × 17 インチ装置の製作に当たってくれたのは、戦時中に空席を埋めていた Carl Lundberg であった。

私がこの装置はいささか煩雑な装置を時々使用していたところ、噂が広まった。1919 年 2 月 22 日のシカゴでの冬季大会の直後、この装置を組込んだ特別な撮影

台の製作を Henry Engeln 氏に依頼した。一連の写真を見た彼は、東海岸への列車にまだ時間のあるメンバーを一泊させて翌朝のプライベートなデモンストレーションにたくさん呼んでくれた。

この時点で私は、戦時中の Bucky らの実際的な進捗や報告を何ら見いだすことができなかった。休戦後ただちに、Coolidge 博士、Carl Darnell 氏がヨーロッパ大陸の X 線医学の状況をかなり徹底的に調査した。それによると、Albers-Schönberg が透視装置用の固定 Bucky 交差グリッドを製作した以外に、グリッドの利用は報告がなかった。ヨーロッパを訪れた他のアメリカ人研究者の報告も同様であった。

私は、職業上必要とされている装置を提供できないという状況に置かれた。一般にも利用できるような装置の製作を催促する手紙がたくさん舞い込んできた。Caldwell の手紙以来守ってきた沈黙は、もはや許されないと思われた。この分野の他の研究者は、誰も実用的なものを作っていなかった。そこで 1917 年 2 月の Cincinnati で の発表に手を加えた論文を、1920 年 6 月に「Bucky グリッド法の X 線撮影への応用」と題して本誌に投稿した [6]。この装置を一般向けに製作を希望するメーカーには全面協力を申し出た。続く 1920 年 9 月の Minnesota で の ARRS 年次総会の発表では数十枚のフィルムを供覧し、その後本誌に「Bucky グリッド法の脊椎 X 線撮影への応用」として投稿した [7]。この大会では、多少改良した装置が George W. Brady によっても発表された。

グリッドを簡便かつ安全に使用できるようになったのは、ガラス乾板に取って代わる両面乳剤フィルムが完成してからのことであった。グリッド使用時に必要な大線量は、ガス管球や小さな Coolidge 管球には過負荷であった。また十分量の線量を短期間で同部位に繰返し照射すると、特に体格が大きい場合は紅斑線量に達したからである。グリッドが広く使われるようになったのは、1920 年代前半に両面乳剤、二重増感紙を使った撮影法が確立してからである。

メーカーが丁寧に Potter-Bucky グリッドと命名してくれた平行型運動グリッドが公開されてまもなく、Eastman Kodak 社の研究部門が通常法と比較した散乱線の定量評価を進んで申し出てくれた。これは R. B. Wilsey 博士により非常に見事に徹底した方法で行なわれ、以下のような一連の報告が発表された。

「X 線撮影における散乱 X 線の強度」(1921 年 6 月)[8]
「X 線撮影における散乱 X 線の効果」(1921 年 6 月)[9]
「Bucky グリッド法の効果」(1922 年 1 月)[10]

これらの論文は、散乱線の抑制に関連して綿密な定量的解析が行なわれており、科学者受けする内容で、グリッド機能に関する厳密な概念の根底にある基本的な

事実を包含したものであった。そしてグリッド装置の構造や効率について実験しようとする者には必携のハンドブックとしての役割を果たすものであった。

要約

グリッドによるX線絞りの歴史に関する本質的な点は以下のようなものである。

1. 1913年, Gustav Buckyによる金属格子の有用な機能に関する独文, 英文のX線関連雑誌における初報。

2. Bucky, Caldwell, Potter, その他による, グリッド自体の陰影を中和, 消去するグリッドの構造と運動のさまざまな組み合わせ。

3. BuckyとCaldwellの提唱する構造と運動ではグリッド陰影の消去は実現できないが, 平行板構造を非常に均一な運動と組み合わせることにより消去できることを示した筆者の実験。

4. 平行鉛板によるグリッドは, 他の管状ないし格子状グリッドとほぼ同程度の散乱線吸収効果を示すこと, より容易, 正確に製作できることを示した筆者の実験的証明。

5. 平行金属板を円筒壁の形状にあわせて彎曲させ, 彎曲の中心を管球距離に一致させることで, 実用上の柔軟性を最大限に, グリッド陰影の映り込みを最小限にすることができることを示した筆者の実験。

6. Wilseyによる深部組織からの散乱線の実験的計測および, 散乱線吸収に関するグリッドの効率性の証明。

【参考文献】

1. BUCKY, G. A grating diaphragm to cut off secondary rays from the object. *Arch. Roentg. Ray*, June, 1913.
2. CALDWELL, EUGENE. Personal communication to the author.
3. PIRIE, A. H. A sliding diaphragm for improving the quality of skiagraphs. *AM. QUART. ROENTGENOL.*, 1913, 5, 18-19.
4. POTTER, H. E. Diaphragming roentgen rays; studies and experiments. *AM. J. ROENTGENOL.*, 1916, 3, 142-145.
5. POTTER, H. E. The Bucky diaphragm adapted to fluoroscopy. *AM. J. ROENTGENOL.*, 1917, 4, 47-50.
6. POTTER, H. E. The object secondaries in radiography; a practical working method for their suppression. Read at mid-winter meeting of Central Section, American Roentgen Ray Society, Cincinnati, February, 1917. Not published. Published later under title: The Bucky diaphragm principle applied to roentgenography. *AM. J. ROENTGENOL.*, 1920, 7, 292-295.
7. POTTER, H. E. The Bucky diaphragm principle applied to radiography of the spine. *AM. J. ROENTGENOL.*, 1921, 8, 61-65.
8. WILSEY, R. B. The intensity of scattered x-rays in radiography. *AM. J. ROENTGENOL.*, 1921, 8, 328-338.
9. WILSEY, R. B. The effects of scattered x-rays in radiography. *AM. J. ROENTGENOL.*, 1921, 8, 589-598.
10. WILSEY, R. B. The efficiency of the Bucky-diaphragm principle. *AM. J. ROENTGENOL.*, 1922, 9, 58-67.