

特別インタビュー

～学会に貢献された人々～

日本放射線技術学会元会員

青柳 泰司 先生

Interviewer：日本放射線技術学会 編集委員 細貝良行(国際医療福祉大学)

Assistants：丸山采華(国際医療福祉大学)，山口俊哉(国際医療福祉大学)

収録日・場所：2018年3月16日(金) ご自宅にて(東京都)

インタビュアーから

本インタビューを実施するにあたり、当初は1～2時間程度を予定しており、その旨を青柳先生にはお伝えしていた。結果的には4時間以上お話を伺っていたことになるが、本当にあっという間の楽しい時間であった。青柳先生からいただいた資料の豊富さ、青柳先生の人柄や知識の深さ、話す内容の面白さなどを直接お聴きすることができたことは、インタビュアー冥利に尽きるものであり、可能であれば現役時代の青柳先生の講義を受けてみたい衝動に駆られたのも事実である。

インタビュー内容を記事に起こす際には、二通りのやり方を考えた。一つは青柳先生がお話しになられた内容をそのまま起こす方法、もう一つは通例に則り、質疑形式に編集する方法である。インタビュアーとしては前者の方法で記載したいと考え、色々と試行錯誤してみたが、やはりその場の空気感やいただいた参考資料に基づく内容を上手に伝えることができなかったため、本記事は質疑形式での記載とした。したがって、当日の質疑応答の順序は適宜並べ替えを行っている。結果として、話していただいた内容のすべてをお伝えすることができていない。編集委員としては、何らかの形で青柳先生のお話を講義形式で拝聴できる機会を設けたいと考えている。また、当日いただいた沢山の貴重な資料に関しては、今後PDF形式にして会員の皆様に開示できるよう手配できればと思っている。

読者の皆様はご存じかと思うが、青柳先生はX線機器に関する著書が多数あり、自分も学生時代には青柳先生の書かれた教科書『診断用X線装置』で機器工学の勉強を行った。この本は390ページもある大変内容の深い教科書であり、既に廃刊になっているため大変貴重である。インタビューではそれらを記述した理

由や過程なども含めて述べられているので、是非参考にさせていただければと思っている。

青柳先生が放射線技術の世界に入ることになったきっかけは何ですか？

細貝：本日は何卒よろしくお願いいたします。

山口・丸山：よろしくお願いいたします。

青柳：こちらこそよろしくお願いいたします。お二人は大学院生なのですね。

山口：はい、正式には4月から大学院生ですので、まだ学部生扱いではありますが。

青柳：私が若い頃にはとても大学院は考えられませんでした。よい時代になったと思っています。お二人のような若い研究者が今後の放射線技術を担ってさまざまな研究を行うことで、ますます放射線技術は発展すると思います。是非頑張っているいろいろな研究してください。

丸山：研究が何かもよくわかっていませんが、頑張っていきたいと思っています。

細貝：さて、最初に青柳先生が放射線技術の世界に入ることになったきっかけを知りたいのですが。

青柳：私が放射線技術の世界に入ったきっかけは全く予想せぬことからでした。中学生の頃からラジオの組立てや電気機関車の模型を作ったりしておりましたので、電気工学を専攻して、今後、急速に発展するであろう電子工学の分野に進みたいと思っていました。しかし、先の戦争末期の昭和20年、5月に東京、8月に長岡と二度にわたる大空襲があり、罹災しました。そして10月に起きた過労による父の死は、私のその後の運命を変えてしまいました。一家の大黒柱を失った家族の生活は容易なものではありませんでした。ようやく長岡の近くの町に移り住むことができましたが、兄も私も学業を諦め、近くの会社に勤めることになり

ました。この町には県立の病院があって、その病院の医師の住宅が家の近くだったことからお近付きになり、病院にも出入りすることになったのが、そもそもの始まりでした。その頃、病院に勤務していたX線技師が病気で退職されたため、後任の技師を探していたのですが、なかなか見つからなかったようで、1年ほど空席でした。その間、軍で経験のあった事務長が業務を行っていたようでした。そこでたまたま、私が電気には詳しいのだということで目を付けられ、県立中央病院で6カ月の研修後、技師になってしまったのです。

細貝：今と違って大らかな時代というか、診療X線技師法が昭和26年に施行されていますので、丁度そのあたりでしょうか。

山口：免許がなくても技師ができていたんですか？

青柳：当時はまだX線技師法が成立しておりませんので、誰でもできました。技師法が成立して、第1回の国家試験が行われたのは昭和25年だったように思います。私も診療X線技師免許証を持っています。病院に勤務するようになって私はとても有意義な話を聞くことになります。医局の中に研究生活がかなり長かった方がおられたのですが、研究の厳しさ、しかしそれを解明したときの満足感など、どの話も私の眠っていた探究心を奮い立たせる素晴らしいものでした。そこで意を決して上京し、東邦大学病院放射線科に勤務することになりました。大学病院で働いているうちに、わからないことが沢山出てきて、このままでは将来性がないと思い、それにはまずX線装置の実態を知ることが先決であると考え、測定を始めました。

細貝：なるほど。本当に偶然のきっかけで感じですね。

丸山：何がきっかけになるか本当にわかりませんね。

日本放射線技術学会の宿題報告について

細貝：それではいただいた資料の話などに移らせていただきます。こちらの資料には『第21回日本放射線技術学会宿題報告』とあります。

青柳：技術学会の宿題報告で1時間の発表をしたときの資料です。当時、宿題報告は1年や2年の研究で指名されることはなかったと思います。10年くらい一つのテーマの研究を地道に続け、その論文が有用と認められて初めて宿題報告を指名されるものです。それだけ宿題報告というのは深い意味をもっていると思います。

細貝：当時は指名されること自体が凄いことだったのですね。

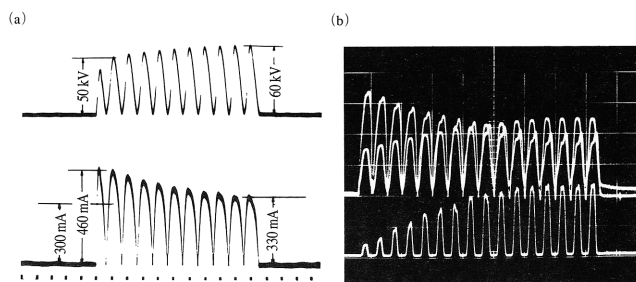


Fig. 1 (a) X線管フィラメントの加熱電圧変動と管電圧の関係⁷⁹⁾
(b) 投入時大きな管電流が流れ、加熱電圧が低下する。投入時は管電圧が低下し、写真効果はほとんどない。

(出典：『医用X線装置発達史』 恒星社厚生閣 p.224)

青柳：そうですね。私がX線装置に関する研究を始めてから5、6年のときに宿題報告の指名がきて驚きました。当時、技術学会で口述発表はしていましたが、論文発表はまだ一つもしていませんでした。ほとんど日本エックス線技師会東京支部の技師会誌に発表してしまっていて、技術学会には書いてなかったですね。ですから、どうして宿題報告が私のところにきたのかよくわかりませんでした(Fig. 1)。

細貝：青柳先生にはそれだけ魅力があったということでしょうか。

青柳：それはあまりなかったと思いますが、そのときの会長だった川崎幸槌先生が私の研究に興味をもってくださったようでした。川崎先生も本を出していらっしゃるのですが、当時は装置の中を実測した訳ではないですから、入力正弦波電圧を整流するから出力も正弦波の全波整流波形になることや、管電流が飽和するから平らな波形になるといったことしかわかっていなかった訳です。装置の本当の特性というのはほとんどの人が知らなかったと思います。そんな頃、私がX線装置の実測をしたものですから、強い関心をもたれたようです(Fig. 2)。

細貝：川崎幸槌先生は1999年に設けられた川崎賞の川崎先生ですね。

山口・丸山：凄いですね。

青柳：管電圧、管電流波形などの観測がまだ初歩的だった当時に自分でもよくやったと思いますよ(Fig. 3)。

細貝：当時は真空管全盛の時代ですね。

青柳：この頃、計測器にトランジスタはまだ使用されていません。全部真空管でした。

トランジスタは携帯用小型ラジオの部品で、当時、真空管の代わりに使うにはまだ色々な問題がありました。真空管はフィラメントを用いて高温で動作させるので、外気と管内の温度に大きな差があります。ですから外気温度が変化してもほとんど関係ないです。

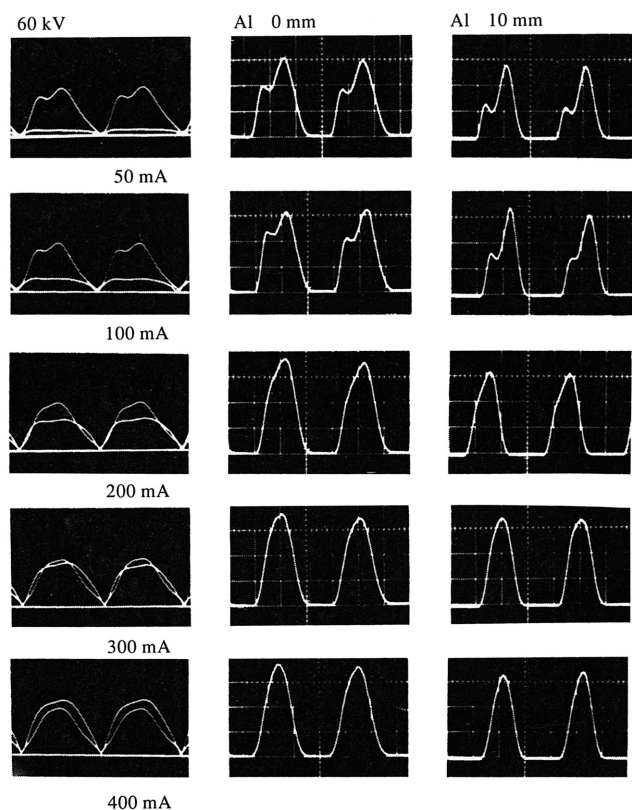


Fig. 2

(出典：『医用 X 線装置発達史』 恒星社厚生閣 p.254)

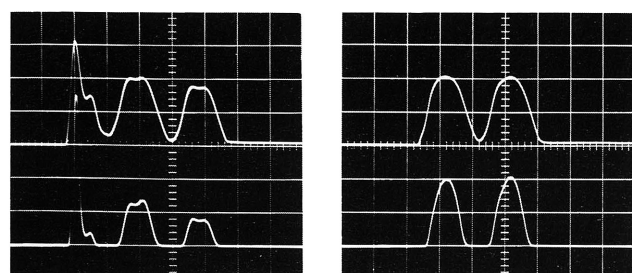


Fig. 3 投入時の異常電圧 (左) 投入位相 60° 遅れ サージ電圧 120 kV (定常値 80 kV 管電流 100 mA) (右) 零位相投入の場合の波形 (投入位相のみ調整)⁷⁹⁾

(出典：『医用 X 線装置発達史』 恒星社厚生閣 p.225)

ところがトランジスタの弱いところは、温度によって出力特性が変化することです。また、ドリフトがあるため、当時はとても測定器には使えなかったです。しかし、半導体の性能が急速に進歩し、画期的に変わったのが IC です。IC の特性は嘘みたいでした。あんな小さい 1 個で 60 dB のアンプができてしまうんです。真空管で作るのは結構大変だったのですよ。

細貝：自分も真空管アンプなどを回路図から作成しますのでよくわかります(この後真空管の話で盛り上がるが割愛)。

丸山：真空管って凄いですか？

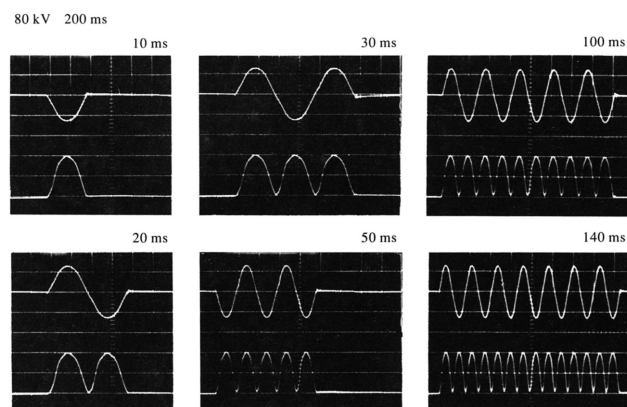


Fig. 4

タイマ試験 (上) 一次電圧 (下) 管電圧 負荷 80 kV⁸⁰⁾
200 mA 電磁接触器使用 (東芝 KXO-15KA, 1977 年)

(出典：『医用 X 線装置発達史』 恒星社厚生閣 p.256)

細貝：凄いわけではない(笑)。今は授業でもほとんどやらないのでよくわかっていないかも知れないけど、そもそも X 線管だって真空管だし、何もかもが半導体に置き換わったわけでもない(笑) (Fig. 4)。

当時の X 線装置について

細貝：当時は測定器も現在ほど充実していませんし、そもそも測定対象の X 線機器だっていろいろ問題があったのではないですか？

青柳：昭和 38 年頃から問題提起されている本質的なことがあるんです。どのようなことかといいますと、装置の設定条件が同じなのに、実際の X 線出力はかなり異なるということです。大きな病院には何台も装置があります。A の装置では適正な写真が撮影されるのに、B の装置では不適正な写真になってしまうということです。このようなことが問題になり出したのが昭和 30 年以降です。その前まで問題にならなかったのはそもそも管電圧がわからなかったからで、表示には 1 次電圧しか出てなかったんです。ですからその頃の装置には管電圧図表が付いていました。しかし電源のインピーダンスは施設によって異なります。ですから設置場所によって変動値が違います (Fig. 5)。

細貝：さすがに自分も生まれていませんが何となくわかります。でも、管電圧図表はイメージもできません(笑)。

山口：今の装置と全く違ってたってことはわかります(笑)。

青柳：もう一つの問題は、管電圧波形は正弦波だといわれていますが、実際にきれいな正弦波なのか、あるいは振動したり、変形したりしているのかわからなかったことです。要するに負荷時の管電圧が正確にわ

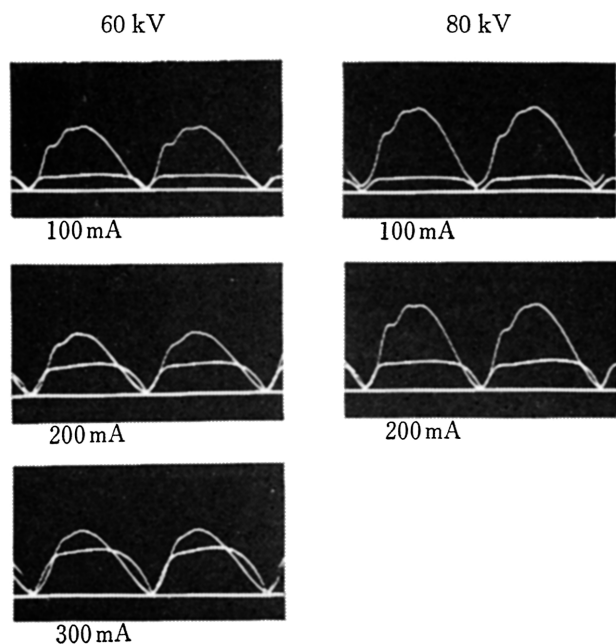


Fig. 5 X線管電圧・管電流波形（X線管，固定陽極 10 kW，焦点 5 mm）

（出典：『改訂 診断用 X 線装置』コロナ社 p.129）

からなかったことが問題だったのです。そこで、現実
にどれくらい違うのだろうかということをもとに確かめ
たのです。

細貝：確かめるといっても結構難しそうです。

青柳：1950年代では1次電圧のみしか表示されてい
ませんでした。1960年代になると、前示式といっ
て、管電圧が表示され、mAも選択式で決まった電流
が流れるような装置に変わりました。これは当時とし
ては大変な進歩です。固定陽極管の時代は加熱電圧が
表示されていて、X線管のフィラメントの電圧を変え
ていたので、何mAのときに加熱電圧がいくらか、と
いうことを覚えていなければいけなかったんです。回
転陽極管になってからは前示式で、管電圧、管電流を
選択してという風に変わってきました。これは機械的
には大きな進歩でした。このように同一管電圧になっ
たはずなのに装置ごとに出力が違うことがあるんで
す。しかしそのことをはっきり指摘する人がいないん
ですよ（Fig. 6）。

丸山：固定陽極 X 線管は名前だけは知っていますが
……。

青柳：そこで、検証するためにまずフィルムとアルミ
ニウム階段を使って照射します。見かけの条件は同じ
で、負荷条件を変化させて照射するというのを8台の
装置で行っていました。

山口：学生実験でアルミ階段は使用したことがありま

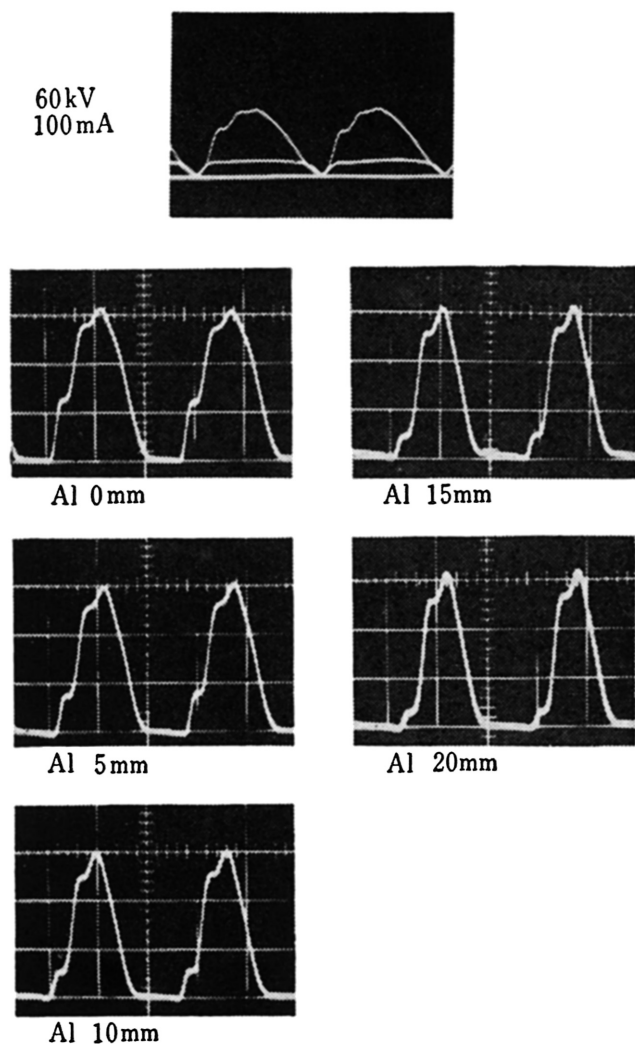


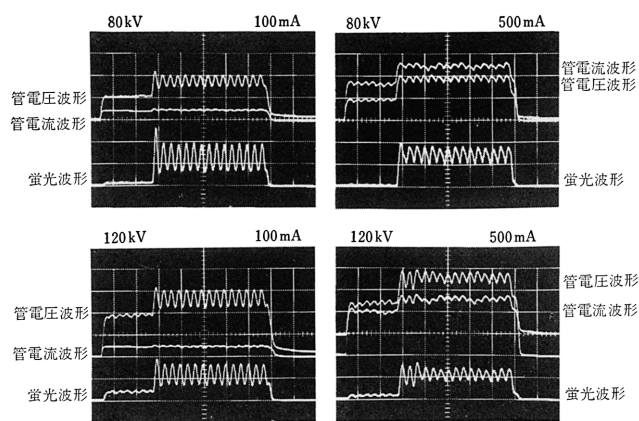
Fig. 6 吸収による蛍光波形の変化⁷²⁾

（出典：『改訂 診断用 X 線装置』コロナ社 p.137）

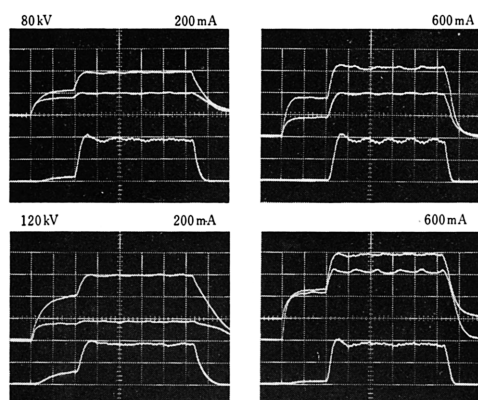
す（笑）。

青柳：ご存じのとおり、装置の特性が同じであれば濃
度は同じになるはずですが、ところがフィルムを現像す
ると濃度がかなり違うんです。そこで考えられるのは、
管電圧が正確に合っていないんだらうということと、
波形が違うのではないかとということでした。それ
を確かめるには、管電圧が合っているのか、管電圧波
形や電流、照射時間がどうなっているのか、表示のと
おりに出ているのか、それとも誤差があるのかを測定
する必要があります。そのようなことから研究を始めた
訳です（Fig. 7）。

細貝：その頃の研究が川崎先生の目に止まったという
ことでしょうし、青柳先生の原点になっていくのだす
ね。



(a) 三相6ピーク



(b) 三相12ピーク

直列抵抗を使用した2段投入方式の管電圧・
管電流・蛍光波形 (Al 10 mm)
40 kV/div, 200 mA/div, H: 10 ms/div

Fig. 7

(出典：『改訂 診断用 X 線装置』コロナ社 p.236)

著書『診断用 X 線装置』について

細貝：先生がお書きになった『診断用 X 線装置』は、1979 年に発刊されています。自分も短大時代に教科書として使用していましたが、こちらは青柳先生がお一人で記述されたのですか？

青柳：ほとんど私一人で書きました。昭和 34 年、東邦大学病院から都立 X 線技師学校へ移り、X 線装置の講義を担当するようになりました。しかし適当な教材がないので、各章ごとのプリントを作っていました。これらをまとめて出版しました。

細貝：こちらの本に載っている図表はいかがなされたのですか？

青柳：回路図などはタイトルも含めてほとんど手書きでした。オシロスコープ波形や装置の写真などもすべて自分で接写し、現像しました。この頃はパソコンもありませんでしたし、必要なものは自分で揃えるしかありませんでした。

細貝：この当時は、回路図などを手書きしたり、青焼

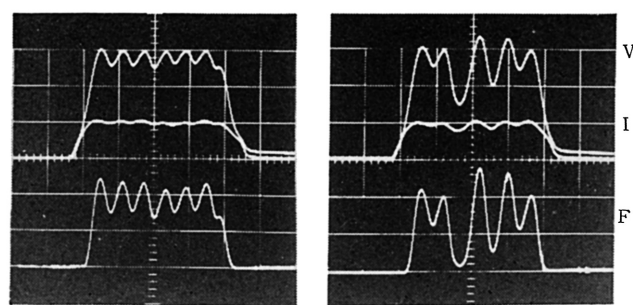


Fig. 8 6 ピーク, 120 kV, 200 mA, (左) 正常, (右) 励磁突入電流あり, H: 5 ms/div, 60 Hz

(出典：『改訂 診断用 X 線装置』コロナ社 p.253)

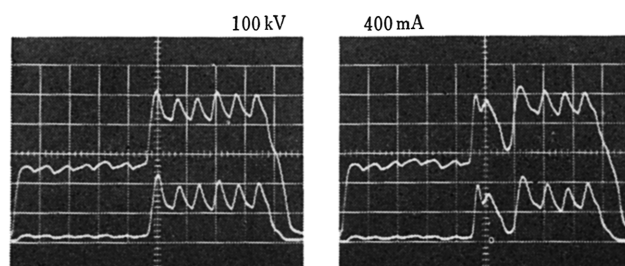


Fig. 9

正常波形 (左) と異常波形 (右)
管電圧・蛍光波形

(出典：『改訂 診断用 X 線装置』コロナ社 p.253)

きして渡したりして大変な手間がかかっていたことと思います。著書の中にはかなりの数の図表が掲載されていますが、その手間を考えたらかつに扱えないくらい、貴重なデータです (Fig. 8)。

丸山・山口：青焼きって何ですか？

細貝：国家試験には出ないので気にしなくてもよいです (笑)。昔は今のようにパワーポイントやそれこそ PC などなかったので、いろいろ大変だったってことだけは覚えておいてください。

青柳：この本は 1979 年に出版しましたが、この頃、三相装置が急速に普及してきたこともあって 1984 年に改訂版を出版しました。しかしこれらは学生の教科書としては消化しきれない面もありましたので、これ以降の放射線機器工学の本ではかなり削って記述しています (Fig. 9)。図表も PC を使用して記述するようになって、見栄えはよくなりました (Fig. 10)。

細貝：自分が習った当時は、今のようにモダリティなどが細分化された状況ではなく、特に MRI に関してはほとんど習っていませんでした。現在のように複雑になってきたのは、やはりデジタルという分野が入ってきてからになると思います (Fig. 11)。

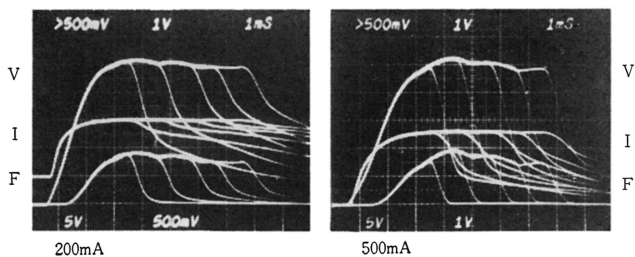


Fig. 10 サイリスタ制御(強制消弧)高電圧波形, 曝射時間 1, 2, 3.2, 4, 5 ms
管電圧 100 kV, 蛍光強度 Al 10 mm 透過後, H: 1 ms/div

(出典:『改訂 診断用 X 線装置』コロナ社 p.245)

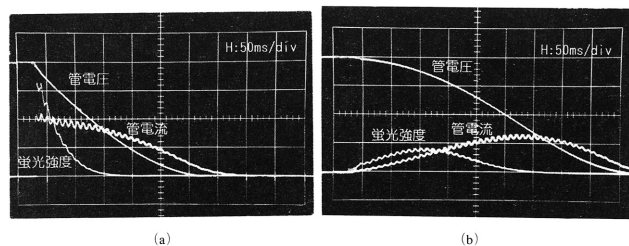


Fig. 11 初期のコンデンサ式装置の放電波形(コンデンサ容量 1 μ F) (1952 年製)

V: 20 kV/div, H: 50 ms/div

(a) 高圧印加式 管電圧 80 kV 管電流 200 mA 蛍光強度 10 mm Al 透過後
実効撮影時間 0.08 s

(b) フィラメント点火式 管電圧 80 kV 管電流 120 mA 蛍光強度 10 mm Al 透過後
実効撮影時間 0.2 s

(出典:『医用 X 線装置発達史』恒星社厚生閣 p.174)

青柳: デジタルが入ってきてからは, 色々な意味で複雑になり過ぎて, この先どこに向かうのだろうと心配している面もあります(Fig. 12).

細貝: 先生が PC を使うようになったのはいつ頃ですか?

青柳: 1984 年頃です. PC を波形解析に使い始めました. この頃 PC は各医局に 1 台しかありませんでした. ソフトとしてあったのは医療統計処理のようなものだけで, 患者情報を記載して分類していました. 患者データですので膨大な資料で, それらを打ち込んで解析させるのですが, PC を使うのはこのような統計処理だけでした. それから勉強をしてソフトを自分で作りまして, PC を計測に取り入れました. PC を使ってプログラムを組み, データを入れるとぱちりと計算処理をしてくれます(Fig. 13).

細貝: 今でいうシミュレーションのようなものでしょうか? 理論式を入力してコンピュータに計算させて, 実測と比較するのは現在でも常套手段として学会などでも報告されていますね.

青柳: 1987 年頃, まだ医局に 1 台しかパソコンがなかったために, 自分で 100 万円ほど出してパソコンを買って, 波形解析をするためにプログラムを組んで解

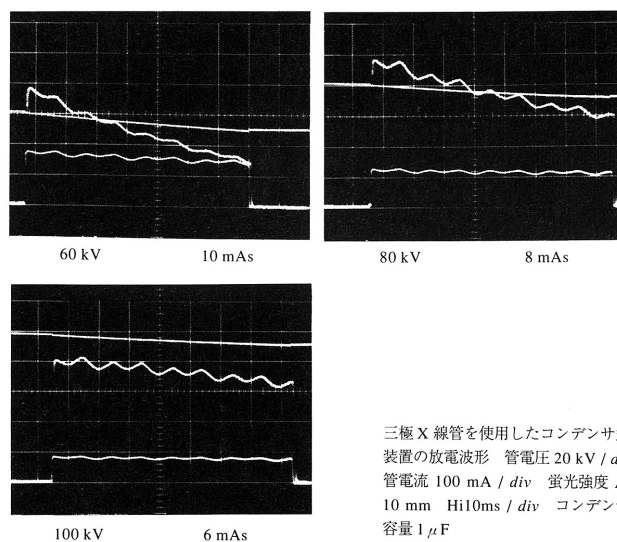


Fig. 12

(出典:『医用 X 線装置発達史』p.179)

三極 X 線管を使用したコンデンサ式装置の放電波形 管電圧 20 kV/div
管電流 100 mA/div 蛍光強度 Al 10 mm Hi10ms/div コンデンサ容量 1 μ F

```

10 '-----
20 '               D 51 60-120kV 100-500mA 0-20cm June,30,1987
30 '-----
40 SCREEN 3:CONSOLE 0,25,0,1:DIM F1(5)
50 FOR I1=1 TO 5:F1(I1)=0:NEXT I1
60 '-----
70 CLS 3:COLOR 7
80 LOCATE 30,3:PRINT "S E T P O I N T"
90 LOCATE 20,8:COLOR 2:INPUT "X-ray tube voltage ( 60 - 120kV ) ",E
100 IF E<60 OR E>120 THEN BEEP:BEEP:GOTO 60
110 LOCATE 20,10:COLOR 5:INPUT "Absorber (water) ( 0 - 20cm ) ",X
120 IF X<0 OR X>20 THEN BEEP:BEEP:GOTO 60
130 LOCATE 30,14:COLOR 6:INPUT "SURE ( Y or N ) ",Y$
140 IF Y$="Y" OR Y$="y" THEN 150 ELSE 60
150 '-----
160 CLS 3:COLOR 7
170 FOR A=-1 TO 399 STEP 50:LINE(0,A)-(628,A),1:NEXT A
180 FOR B=0 TO 639 STEP 52.36:LINE(B,0)-(B,399),1:NEXT B
190 '-----
200 LOCATE 56,1:PRINT "D 51 100-500mA "
210 W=2*3.1416*50:EB=3:ES=E:F0=.387:U0=.488:Q1=.67:D1=.25:V0=22
220 A2=.06:B2=1.8:K2=.1872:G2=.155:L=1.12938:K=1.72:P=1.81
230 R4=E*2/L:5708
240 LOCATE 60,2:PRINT USING " ###kV ###cm":E,X
250 '-----
260 FOR T=0 TO .01 STEP .00001
270 E0=100:E2=60:I3=.3
280 X1=200*W*T:V=E*SIN(W*T)
290 R1=(E-E2)*1.6*G1:R0=(E-E2)*7.4135*337.46
300 A1=(E-E2)*.00725*4.18 :B1=(E-E2)*.04875*16.63 :C1=(E-E2)*24.875*1065
310 IF E0<E THEN E0=E
320 G=((E0-E)/E0)*1.3*3.27 :H=((E0-E)/E0)*1.6*3.83587
330 S=((E0-E)*1.6/3658.44)*.75
340 FOR I=.1 TO .5 STEP .1
350 N2=S*H*L*I
360 IF I3<I THEN I3=I
370 N3=G*K*(I3-I)*P:N=N2-N3
380 R3=R0*EXP(-A1*I)*C1*EXP(-B1*I)
390 R=R1*((V+EB)/(V+.01))^3/2+(R3*(V/ES)^N)
400 IS=(V/R)*5/(1*10)
410 W=(A2*X+B2)*(K2*(1-EXP(-G2*X)))
420 IF V<V0 THEN M=0
430 F=F0*EXP(-X*U0-Q1*(1-EXP(-D1*X)))*(V-V0)^M
440 F3=F0*EXP(-X*U0-Q1*(1-EXP(-D1*X)))
450 F1=F*I5:F1(1*10)=F*I5:F1(1*10)
460 LOCATE 1,1*10:COLOR 1*10:PRINT "-----";
470 COLOR 7:PRINT USING " ###mA ###cm":I3,I3*1000,F1(1*10)/10000
480 Y1=399-ABS(V/.4):Y2=399-ABS(500*I5)
490 '-----
500 IF E>120 THEN KK=.05:GOTO 540
510 IF E>100 THEN KK=.025:GOTO 540
520 IF E>80 THEN KK=.014:GOTO 540
530 IF X>9 THEN KK=.004 ELSE KK=.008
540 J=10*((20-X)/10)*KK:LOCATE 50,23:PRINT USING "F/#.###":J
550 '-----
560 Y3=399-F1/J
570 PSET(X1,Y1):PSET(X1,Y2),I*10+1:PSET(X1,Y3),I*10+1
580 NEXT I,T
590 LOCATE 30,24:INPUT "CONTINUE ( Y or N ) ",Y$
600 IF Y$="Y" OR Y$="y" THEN 50 ELSE END

```

Fig. 13

Calculation program.

(出典:東京都立医療技術短期大学紀要第 1 号「パーソナルコンピュータによる X 線装置解析への応用(第 1 報 単相理想波形の写真効果)」)

析しました. それまでは, 実験式を作っても計算できなかったのですが, それをコンピュータに入力しますと, 次の日には計算して出てくるんです. これで, 三

相装置の解析をやりました。この後にインバータができてがらりと変わりました。

山口：100 万円の PC ですか……。

細貝：時代ですね。自分も NEC の PC9801 に当時そのくらい出しました(笑)。

レントゲン博士について

細貝：青柳先生には『レントゲンと X 線の発見』という著書もありますが、こちらを記述するに至った経緯などを教えていただいてもよろしいでしょうか？

青柳：薄い冊子『X 線発見 100 年 ―発見の背景とその反響―』は 1993 年にスイスへ取材に行った後に書いたもので、その後 1994 年にもう一度スイスへ行きました。

細貝：個人的な旅行でしょうか？

青柳：はい、そうです。レントゲン博士はスイスのチューリヒにある連邦立工業専門学校(現 連邦立工科大学)で学び、夫人(アンネ・ベルタ・ルードヴィヒ)もスイス人で、スイスには非常に愛着が深いんです(Fig. 14~16)。

ですから休暇にはスイスへ行っていたようです。毎年、夏に行くところが決まっていた、サンモリッツの隣のポントレジナに行っていました。サンモリッツは高級社交場なのですが、そのような場所はレントゲンは好きじゃなかったようです。ですからその隣のポントレジナという温泉街のホテルを気に入って毎年そこに通い詰め、その回数は 30 数回といわれています。

細貝：レントゲン博士はドイツの出身ですよね？お母さんがオランダ人だった気がします。

青柳：私はレントゲン博士を崇拜していましたので、レントゲン博士の足跡を辿るためスイスへ行きました。1 回目はサンモリッツへ行き、2 回目はポントレジナへ行きました。そこで、レントゲンがいつも行っていたという眺めのよい広場を探しに行きました(Fig. 17)。そこには椅子があって、レントゲンの業績を讃える記念広場があります。1993 年、地図を頼りにその場所の見当をつけ、家内と 2 人で少し登ったところに案内板を見つけました。それには歩いてあと 30 分とあったので、夕方だったんですが、登り始めたんです(Fig. 18)。当時私はちょっと体調不良だったものですから、途中でばててしまって、家内だけが登って見てくるといったんです。しかし夕方で暗くなってしまっていて、下ってくる人にもう止めなさいといわれて、その年はレントゲン広場へ行けなかったんですよ(Fig. 19)。そんなことがあって翌年、ポントレジナへまた行ったんです。



Fig. 14 連邦立工科大学 (ETH) 本館正面 (1989 年撮影)

(出典：『レントゲンとその発見』 恒星社厚生閣)



Fig. 15 現在でも残っているレントゲンが下宿していた家。(1989 年撮影)

(出典：『レントゲンとその発見』 恒星社厚生閣)

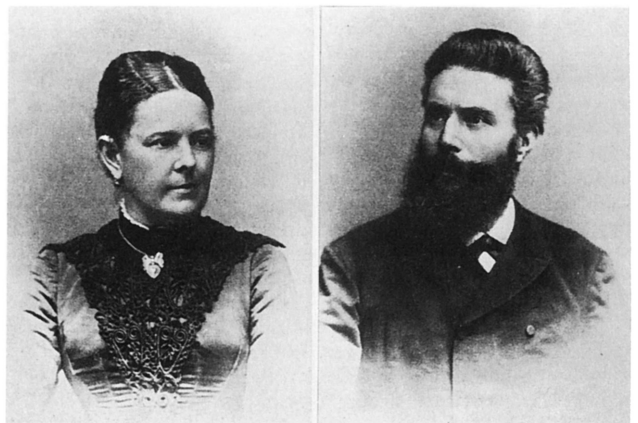


Fig. 16 ギーセン大学物理学教授時代のレントゲン夫妻¹⁾

(出典：『レントゲンとその発見』 恒星社厚生閣)



Fig. 17 レントゲン広場と「W. C. Röntgen を記念して」と書かれた銘板 (1994 年撮影)

(出典：『レントゲンとその発見』 恒星社厚生閣)



Fig. 18 「レントゲン道」と書かれた案内板 (1994 年撮影)

(出典：『レントゲンとその発見』 恒星社厚生閣)

山口：リベンジしたって感じですね(笑)。

青柳：そうですね(笑)。レントゲンの発見は面白くて、普通だったらドイツの有名な新聞社が嗅ぎ付けて、驚くべきものが発見されたと記事に思うんですけど、実際に最初の記事になったのはオーストリアのウィーンの新聞でした。資料には何でウィーンの新新聞社が報道できたかが書いてあります (Fig. 20)。



Fig. 19 この道を登って行くと標識がある (1993 年撮影)

(出典：『レントゲンとその発見』 恒星社厚生閣)

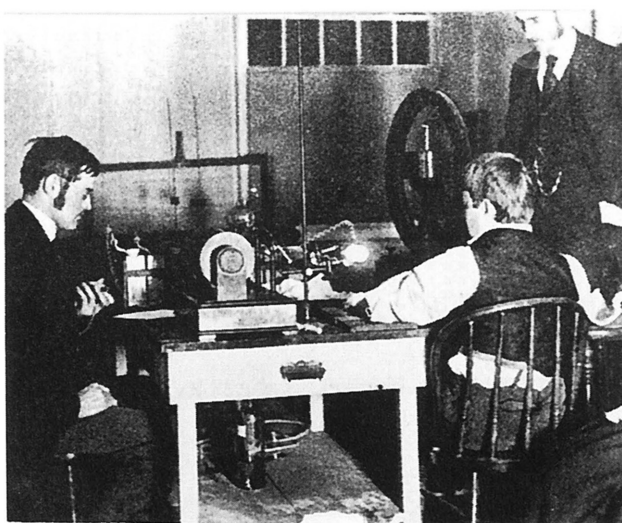


Fig. 20 初期の X 線実験 (1896 年 2 月 3 日, Dartmouth 大学)¹¹⁾

(出典：『レントゲンとその発見』 恒星社厚生閣)

細貝：毎年レントゲン祭と称して 10 月に関係者で飲み会がありますが、われわれはレントゲン博士のおかげで飯が食べられますので、青柳先生のように崇拝しないといけません(笑) (Fig. 21)。

青柳：X 線の発見は 1895 年が定説ですが、アメリカではその 2 年前にレントゲンが X 線を発見したといわれていたんです。こんなことをいっていたのはシカゴの放射線学会で、1930 年頃までは 4 月 1 日になるとお祝いをしていたようです。それがおかしいと言い出したのがオットー・グラッサー (Dr. Otto-Glasser) という物理学者で (Fig. 22)，そのことが放射線学会で認められたのが 10 年後でした。

細貝：もしかしたら、レントゲン祭は 4 月になる可能性もあったんですね。4 月は入学式やら何やらで忙しいので、10 月でよいと思います。あくまでも個人的見解ですが(笑)。

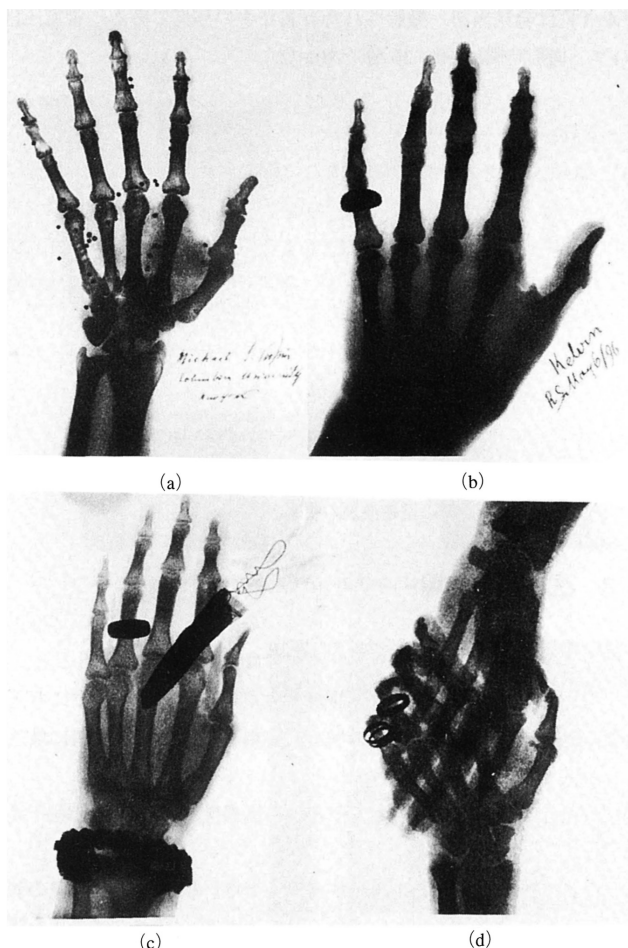


Fig. 21 発見当初、撮影された有名な手の写真¹¹⁾
 (a) 散弾が撃ち込まれた手の写真 (1896 年 2 月ニューヨーク, M.Pupin撮影)
 (b) Lord Kelvin の手 (1896 年 5 月ロンドンで撮影)
 (c) 花束を持った女性の手 (1896 年 2 月, フランクフルトの Dr.Korig 教授の撮影)
 (d) 二つの手をからませたレントゲンの写真 (1896 年 6 月 27 日 Dr. Korig 教授の撮影)

(出典：『レントゲンとその発見』 恒星社厚生閣)

青柳：『医用 X 線装置発達史』は初期の頃から 1955 年までの装置の歴史を並べたものです (Fig. 23, 24)。

この頃の装置の性能がどのようなものであったかを知りたかったのですが、当時は測る手段もなく、性能評価のデータがなかったんです (Fig. 25~33)。

そしてそのような初期の計測データを、わずかですが、苦勞して集めたものが書いてあります (Fig. 32)。

この資料 (日本放射線技術誌第 38 巻 6 号 p907-956 「日本放射線技術史 2. X 線管および高電圧発生装置 (1925~1955)」) では三相装置の問題点等を指摘して、現在 (1936 年当時) の三相装置には問題点があるのではないかと述べています。例えば励磁突流電流といって、管電圧が落ちてしまうことや、リップルが 30% と大きいことが挙げられます (※ p.952 の高圧印加とフィラメント電荷の測定は青柳先生の測定)。

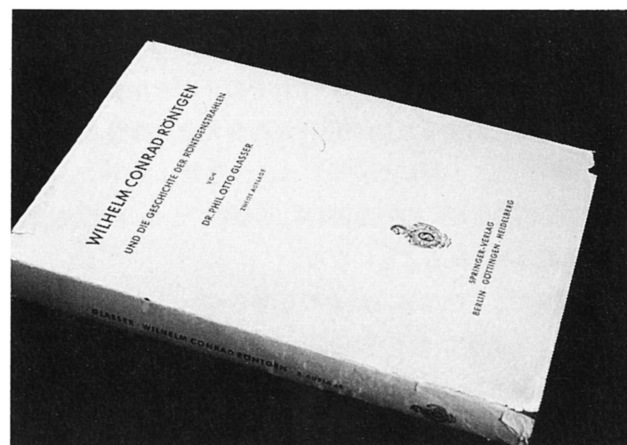


Fig. 22 O. グラッサー (O. Glasser) の 1959 年の改訂版『W. C. レントゲンとレントゲン線の歴史』。

(出典：『レントゲンとその発見』 恒星社厚生閣)

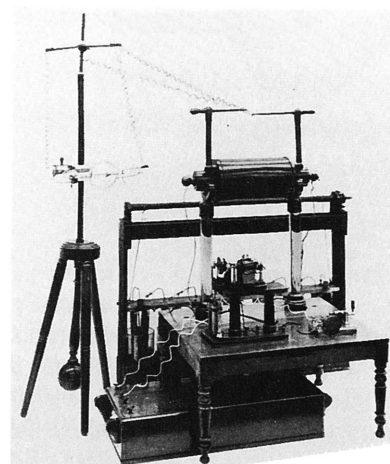


Fig. 23

1896 年後半に作られた X 線装置²⁴⁾

(出典：『医用 X 線装置発達史』 恒星社厚生閣)

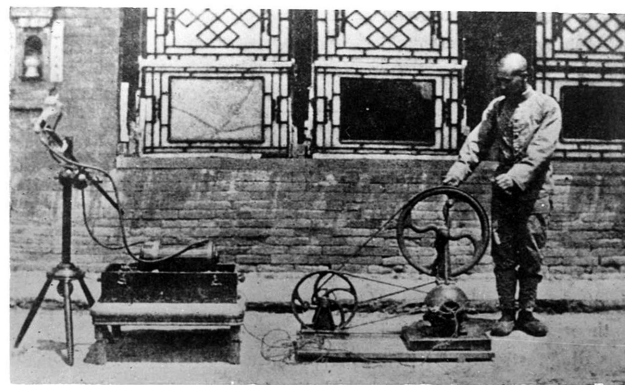


Fig. 24 日露戦争で使用された日本軍の X 線装置。兵士が手回しの発電機を交代で回し、X 線を発生させた。(1905 年)

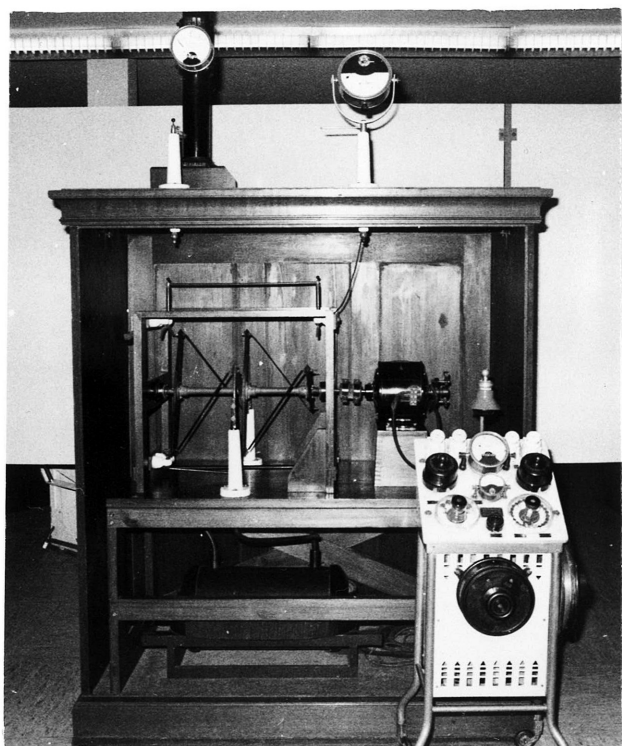


Fig. 25 整流釘付誘導コイル，機械整流初期のもの（1908年，ライニゲル社）
ドイツ，レントゲン博物館にて1981年青柳氏撮影

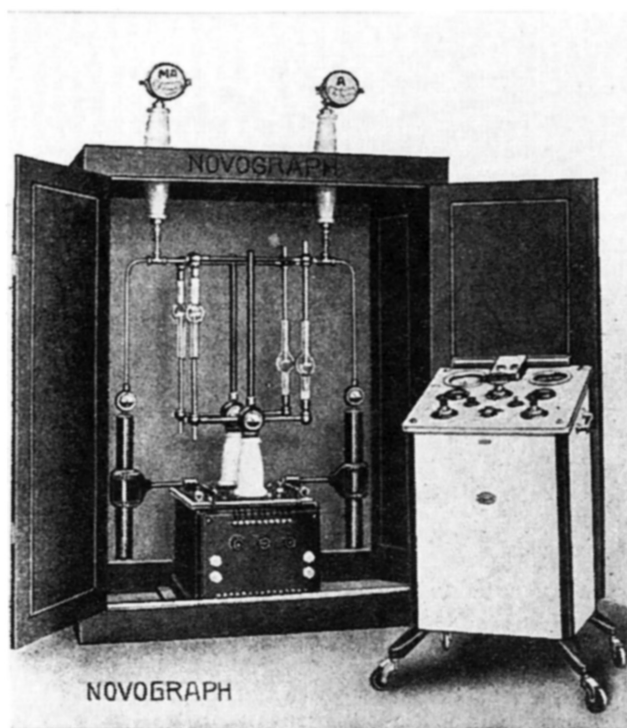


Fig. 27 電氣的整流初期の装置（1925年頃）
130 kV 4 mA, 82 kV 300 mA,
ノボグラフ（Novograph）（ザニタス社）
電氣的整流初期の装置（ザニタス社，1925年頃）
（出典：『医用X線装置発達史』恒星社厚生閣 p.89）



Fig. 26 深部撮影装置（1922年，ライニゲル社シンメトリ）
ドイツ，レントゲン博物館にて1981年青柳氏撮影

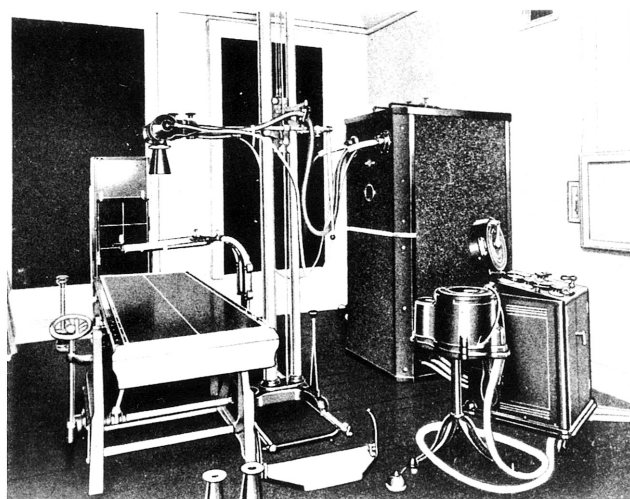


Fig. 28 KX-10形装置（インパルスタイマ付）单相1000 mA
（東京電気，1936年）

細貝：現在でもメーカー側が公表した内容を現場で測定して，問題点を指摘するということがなされていますが，青柳先生の時代の内容とは大きく異なりますね。現在は測定器がいくらでも使用できますので，測定に関しては問題ありませんし，どちらかというところ，測定に関する方法論の方に主眼が置かれているような気がします。青柳先生のように測定するための測定機器を自ら製作して，メーカー側に問いかけるような

ことはほとんどないですね，製作した測定器が悪いといわれかねないし（笑）。

丸山：私は学生なので，測定器の使い方と測定方法を学ぶ方が先ですね（笑）。

青柳：今は測定するための機器の種類が多すぎて，使い方を学ぶ方が大変かも知れませんね，自分で工夫を

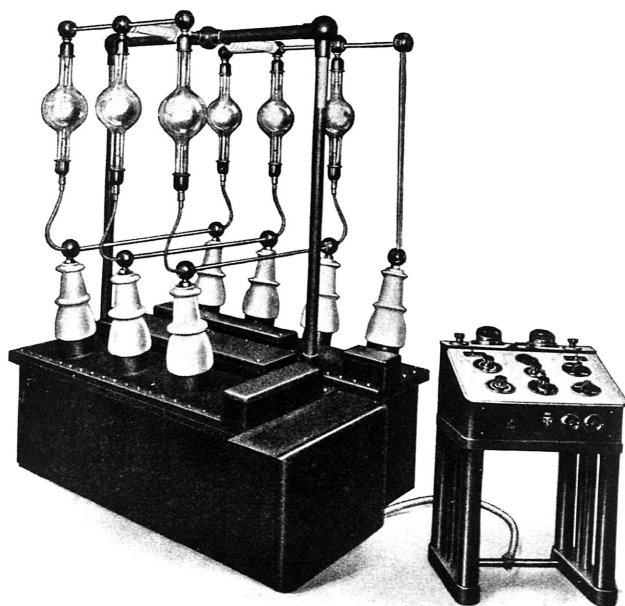


Fig. 29 当時世界最大の三相 X 線装置「ギガントス」80 kV, 2000 mA(シーメンス社, 1929 年)

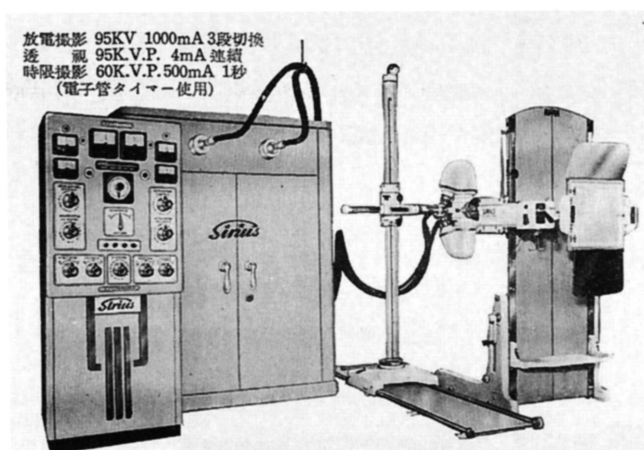


Fig. 30 据置形でコンデンサ容量は $2 \sim 3 \mu\text{F}$, タイマ撮影は変圧器式(全波整流)に切り換える。X 線管は 10 kW の固定陽極管を使用しているので管電流は 200~300 mA で実効的撮影時間は充電電圧により異なるがおよそ 0.05~0.15 s であった。カタログには装置出力を表すコンデンサ容量の記載はなく、出力に関係のない放電撮影 1,000mA が書かれている。当時はコンデンサ式装置の特徴が理解されず最大管電流を記載しないと装置が売れなかった。

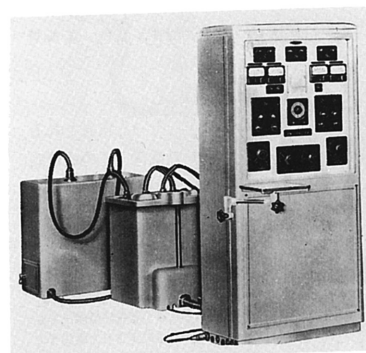
(出典：『医用 X 線装置発達史』恒星社厚生閣 p.174-175)

しなくても、測定器があるということはよいことと思いますが、あまり面白みはなさそうな気がします。

最終講義について

細貝：こちらに最終講義の内容が書かれておりますが……

青柳：内容は 1970 年から 1990 年の 30 年を 10 年ごと



波尾切断回路をもった「清滝」(高津製作所) フィラメント点火方式 コンデンサ容量 $1 \mu\text{F}$, $0.5 \mu\text{F}$ 切り換え タイマ撮影半波整流 (1953 年頃)

Fig. 31 (出典：『医用 X 線装置発達史』恒星社厚生閣 p.174-175)

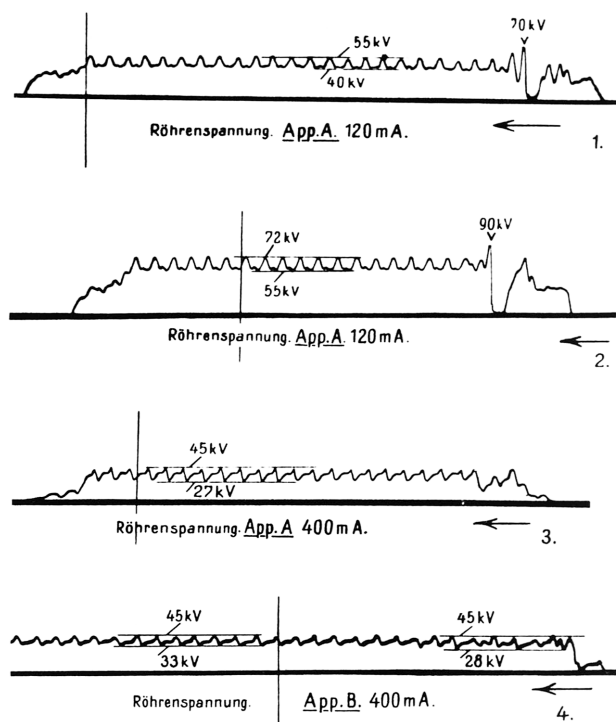


Fig. 32 ショントレーンが測定した三相装置の管電圧波形 (1936 年)。

1, 2 とも投入時に大きな落ち込みが認められる(励磁突入電流による)。管電圧の脈動率は 30% もある。これは当時の三相装置の特性を知るうえで貴重な記録である。

に分けて、まとめたものです。最初の頃は測定器のことについて書いてあります。

細貝：とても詳細に書かれているのは、正直、真似ができませんね。

青柳：最初に分圧器で高電圧を落としますが、それが一番の問題でした。そこで作ったのが柱のようなもので、その中に抵抗が入っています。高抵抗で高電圧、およそ 2000 分の 1 くらいに落とすことができま

す。普通だったら、抵抗比に従って分圧されるはずですが、それがなかなかうまくいかないのです。

細貝：周波数特性ですね。

山口：国試に出てます(笑)。

青柳：そうです。高抵抗であるために静電容量があってそのために周波数特性が落ちてしまうんです。それによって、正確に分圧されなかったり、正確な波形が得られないことになります。

丸山：学校で習った気がします(笑)。

青柳：横軸に周波数をとっているんですけど、100 Hzを超えるとどんどん落ちてきてしまいます。ですから分圧器の精度としては、あまりよくないんですが、歴史的に見ると、ほとんどが抵抗分圧なんです。測定装置もとても大きな仕掛けのものでした。なぜかといいますと、結局、記録する機械がなかったからです。ブラウン管オシロスコープが普及する前は電磁オシロスコープが使用されていて、偏向感度を1 mm 振るのに、1 mA の電流を流さなくてはなりません。感度が鈍いんです。

細貝：仮に50 mm 分のグラフを書くとなると、50 mA 必要だってことですね。それだけ分圧器に電流が流れたら、測定は不可能になってしまいますね。

青柳：波形をとるには20 mm 位は欲しいので20 mA 流さないといけないうんです。分圧器に20 mA 流れたら何を測っているのかわからなくなりますし、測定器を付けたら状態が変わってしまうことになります。そんなことがあって高電圧測定はとても難しかったんです。分圧器にはそういった事情があるために、それらを補正したものでなければいけないということが書いてあります。

細貝：その辺の苦労は今の学生にはわからないと思います。そもそもオシロスコープの使い方ですら怪しいし、繋げば波形は自動的に出てくるものと思っていますし(笑)。そもそも学生はオシロスコープにもインピーダンスがあることを重く受け止めていませんし……。

山口：オシロスコープは未だに使い方がよくわかりません。

青柳：分圧を補正する方法としては三つあって、分圧抵抗の周りに補償用の円形抵抗をつけて補正する方法、電極の上部にスクリーンのような板をつける方法、CR を使う方法があり、CR が簡単で精度がよいんです(Fig. 33)。

そこで最初に作ったものが書いてあります。高電圧測定の基というのはやはり分圧器で、低い電圧に落としたときに、高い電圧のものがそのまま忠実に波形が

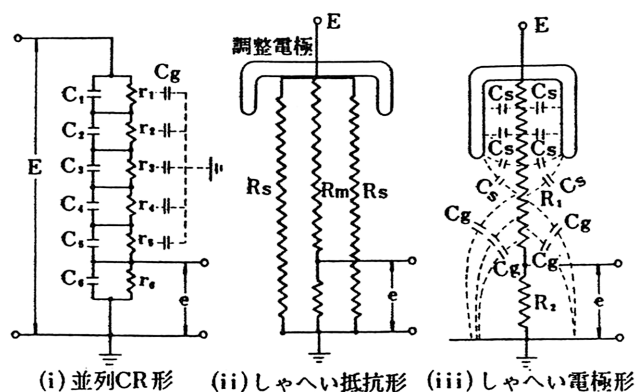


Fig. 33

各種補償抵抗分圧器

(出典：最終講義「X線装置とその計測技術について」p.21)

出ているかどうかということが非常に問題なんです。それで、100 Hzあたりから落ちてしまうというのは、高電圧の方でひどく振動していても出力波形の方の振動はわずかなものになってしまいます。ですから、測定器として抵抗分圧器は適さないことになります。

細貝：抵抗分圧は適さないということはわかりますが、測定対象が高電圧ですから、コンデンサもそれなりの高耐電圧が必要になるでしょうし、回路そのものも複雑になる可能性がありますね(Fig. 34)。

青柳：ほかにもアンプのことが書かれているんですが、何しろこの時代ですから真空管を使用しています。苦労しました。一人で色々やっていました。そして管電圧波形や管電流波形を測りました。

細貝：真空管でアンプを作ると、動作の直流電源を作るのが大変で、直流電源にリップルが乗ったりすると、出力にも影響してしまいますので大変です。アンプの設計は直流電源の設計が全体の3分の2くらいを占めています。これも今の学生にいてもわからないと思いますが(笑)。

丸山：正直良くわかりません(笑)。

青柳：電流波形を測るのは大変で、普通は中性点に抵抗を入れれば平均値として出るんですけど、2次側のコイルに電流が流れていますから、2次側の巻線に流れる電流との合成された電流になる訳です。ですから、見ている波形は本当にX線管に流れる電流波形ではないんです。それでX線管に流れる電流波形を求めるには、X線管に直列に抵抗を入れてその出力電圧をとらなければならないんです。これが難しいんです。その当時としてはあまり考えられていない方法でやったんです。

細貝：X線管に直列に抵抗を入れるようなことは考え

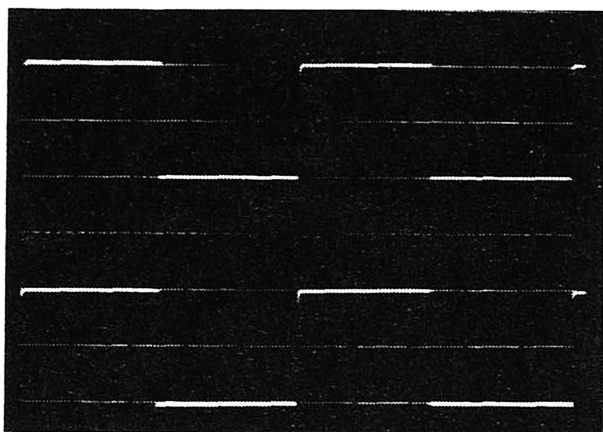


Fig. 34 補償電極形分圧器 (10 kHz 方形波) 忠実に分圧されている。
(上) 入力波形 (下) 出力波形⁸⁰⁾

(出典：『医用 X 線装置発達史』恒星社厚生閣 p.234, 238-239)

たこともありませんし、今なら完全に否定されます。そもそも何ワットの抵抗を入れる必要があるのか見当もつきません(笑)。

青柳：そのときに応用したのが電送写真を撮影する方法です。光放電管という真空管を使用すると、信号の強度によって光の強さが変化します。つまり、X 線管に電流が流れると、光放電管がそれに比例して光ってくれるんです。その光をフォトマルで測定することにしました。測定する対象は高電圧ですから、絶縁する必要がありますので、絶縁パイプを通して、光をフォトマルで受け、その出力電圧をオシロスコープに加えるという装置を作ったんです。これでようやく高電圧側の電流波形を測れるようになりました。

細貝：その考えに至る発想ももの凄いのと思いますが、それを実現してしまう方がもっと凄いのと思います。

青柳：これらの装置は、当時は東邦大学で作っていたのですが、東邦大学の事務長が見かねて放射線科の研究費のほかに 10 万円ほど出してくれたんです。事務長は私がやっている姿を見て、勉強しているなあ、と褒めてくれまして、便宜を図ってくれたんです。

細貝：事務長から目をかけられるということは、よほど熱心に研究されていたのだと思いますし、当時の 10 万円ですから事務長もかなり太っ腹ですね。

青柳：そういった技術的なことで研究費を使うのは初めてだったと思います。そういったバックアップがなかったら、とてもできなかったと思います。本当にありがたかったです。

細貝：やはり偉業にはさまざまな人のバックアップが関わっているんですね。

青柳：回路のなかに使っている真空管は、高信頼度管といって元軍用のもので、非常に堅牢で安定しているんです。ほかにも 3 極管や 5 極管も使っていました。更に、分圧器に矩形波を入れて、その特性を見たりもしていました。入力と同じ波形が出ればよいのですが、実際の出力は立ち上がりが遅れたりして、X 線管の方は振動しているのに、オシログラフの方はなまってしまうんです。

細貝：周波数特性やレスポンスの問題でしょうか。

青柳：なぜ CR を使用した分圧器が駄目だったかといいますと、インバータ式装置の出現です。CR 分圧器は簡単で特性もよかったんですが、本体の電源の周波数が高くなると、分圧器のインピーダンスが低くなって、分圧器に流れる電流が多くなってしまいます。

細貝：高周波数が測定できないことになりますね。

青柳：そのとおりで、CR 分圧器はインバータ式装置になって周波数が高くなったときに分圧器のインピーダンスが下がってしまって正確な測定ができなくなったんです。そこで、遮蔽電極をつけてインバータ装置でも測れる分圧器を作りました。

細貝：測定対象に合わせて的確な測定器を使用するあるいは工夫する必要があるということですね。

青柳：計測とは、ただ測るということですが、測定とは、間違いのない測定器を使って測るということなので、測定するときには、その測定器をつけても元の状態に影響のない、正しい測定ができるようなやり方をしなければいけないんです。

細貝：オシロスコープ一つとっても正しい測定ができるよう考えなくてはいけないということですね。

丸山・山口：以後きちんと考えて使うようにします(笑)。

青柳：それまでアナログのオシロスコープだったのが、デジタルオシロスコープが出てきて、内蔵されているメモリを使用することで、このような波形が撮れるようになりました(Fig. 35)。

アナログオシロスコープのときから考えると、データがカラーで撮れるというのは革新的でした。このように、装置の進歩に伴って、装置にあった測定器も変えて行くということが大切です(Fig. 36)。

丸山：わかりました。近年はインバータ方式がほとんどで、単相・三相などといった装置はないと思います。が……。

青柳：近年は装置の周波数も高くなって、性能も高くなっていると思います。そうはいってもどれだけ周波

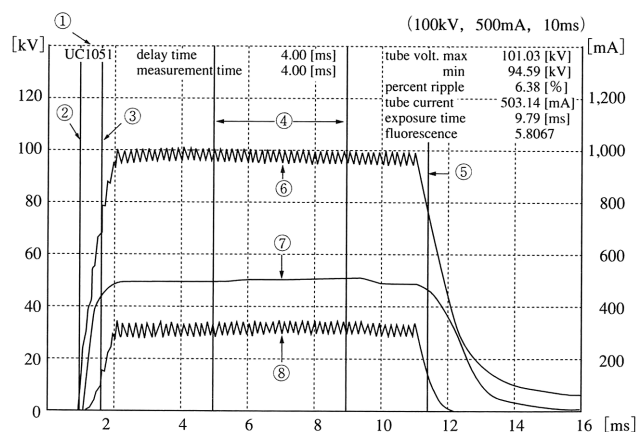


Fig. 35 パソコンによる測定例〔I〕(100 kV 500 mA 110 ms)

①データ名 ②管電圧の立ち上がりライン ③、⑤管電圧波高値の75%ライン ④解析領域 ⑥管電圧波形 ⑦管電流波形 ⑧蛍光強度波形

(出典：『医用 X 線装置発達史』恒星社厚生閣 p.234, 238-239)

数を高くできるのか、高くするべきなのも含めて、これからどういう風になっていくのか、期待と不安があります。装置そのものが高性能になっていくことは間違いありませんから、そうすると、保守管理はあまり考えなくてよいようになるのかと危惧しています。

細貝：装置が高性能になったとしても、保守管理や機器の特性測定などを怠ってはいけないということです。

今の学生に対してのメッセージ

細貝：最後になりますが、今現在大学で学んでいる学生に対してメッセージなどがあればお願いします。

青柳：放射線技術の学問的な確立や、体系、体制作り

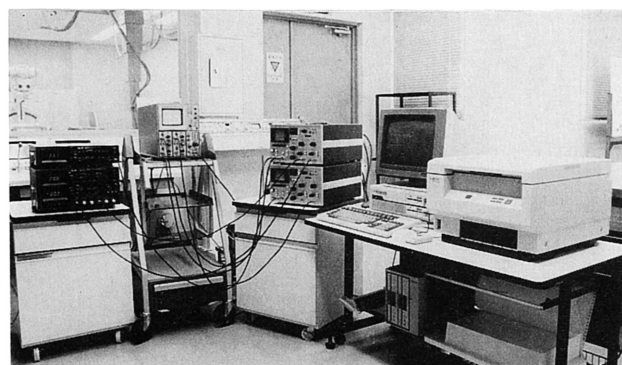


Fig. 36 デジタルメモリとパソコンを組み合わせた測定 左から蛍光量計、管電圧・管電流計、ストレージ形オシロスコープ、デジタルメモリ (4 CH)、パーソナルコンピュータ、カラープリンタ

(出典：『医用 X 線装置発達史』恒星社厚生閣 p.234, 238-239)

をするにはやはり教育が大事だと思います。今では放射線技師の中でも大学院まで行って勉強しようという人が増えてきています。これは私が若い頃では考えられなかったことです。それが現実的に教育を受ける道ができたわけですから、撮影技術学などといった形で体系づけられるのではないかと思いますし、それを期待しています。

丸山・山口：青柳先生のご期待に沿えるよう今後も頑張ります。

細貝：本日はとても楽しい時間を過ごせました。本当にありがとうございました。

青柳：ありがとうございました。また、いつでも遊びに来てください。

青柳泰司(あおやぎ・たいじ)先生 ご略歴

昭和 34 年 日本大学工学部電気工学科卒業
同年 東京都立診療放射線専門学校教務主任
昭和 52 年 東邦大学医学部放射線医学教室入局
昭和 53 年 東邦大学にて医学博士取得

昭和 55 年 東邦大学医学部講師
昭和 61 年 東京都立医療技術短期大学教授就任
平成 4 年 東京都立医療技術短期大学客員教授
平成 12 年 ご退任

参考資料

・青柳泰司. 診断用 X 線装置. 東京：コロナ社, 1979 年.
・青柳泰司. 診断用 X 線装置改訂版. 東京：コロナ社, 1984 年.
・青柳泰司. 放射線機器工学(I). 東京：コロナ社, 1998 年.
・青柳泰司. レントゲンと X 線の発見—近代科学の扉を開い

た人. 東京：恒星社厚生閣, 2000 年.
・青柳泰司. 医用 X 線装置発達史. 東京：恒星社厚生閣, 2001 年.
・青柳泰司, 安部真治, 小倉 泉, 他. 放射線機器学(I). 東京：コロナ社, 2014 年.