

FCR稼働開始

名古屋営業所 櫻井 智規、近藤 貢
名波 博史、吉良 将仁
近藤 浩

キーワード FCR X線 配管 埋設物探査

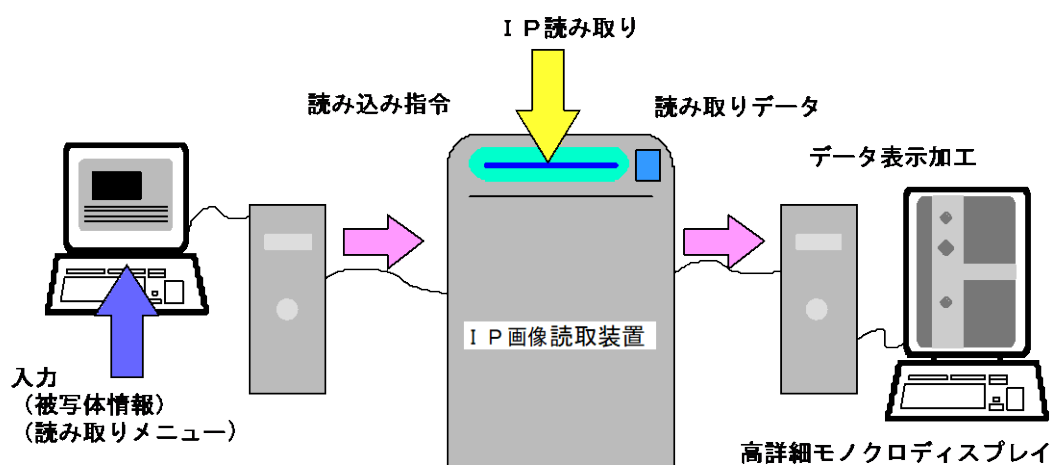
1. 概要

2012年3月に名古屋営業所に導入したFCRがようやく稼働を始めた。従来から使用している銀塩フィルムに比べダイナミックレンジが非常に広く、建築設備配管では管壁や腐食部の表現がすばらしく、またプラスチックと金属など吸収係数が異なるものの同時撮影や、同じ吸収係数であっても厚さが異なるものの同時撮影などでこれらが同時に表現できるなど、優れた性能を持っている。

しかしながら、解像度では銀塩写真に比べやや劣る部分が見られ、「暗室不用」といううたい文句に対し、蛍光灯や太陽光でカブリの疑いがあるなど、解決しなければならない問題も多くある。

2. FCRとは

FCR (FUJIFILM COMPUTED RADIOGRAPHY) とは富士フィルムが開発したデジタルX線撮影システムで、従来の銀塩フィルムの代わりにIP (IMAGING PLATE—輝尽性蛍光体を塗布した感光剤) を用い、現像の代わりにレーザースキャナーでIPに記録された情報を読み込み、パソコンで画像の表示や保存、加工を可能にしたシステムです。保存形式は病院のCT、MRI、PETなどで用いられるDICOM形式のファイル(拡張子dcm)で、コントラストや明るさの調整が非常に簡単で、画像上での寸法計測も非常に容易である。また、銀塩写真で必要な暗室設備と一連の現像処理を必要としないので、消耗品の購入や廃液処理が無い。



撮影後の処理フロー

撮影後はカセットを読み取る前に、その対象物の情報を入力させる。材質での選択項目は「鉄」「アルミニウム」「ゴム」「セラミック」「複合材」「樹脂」等またさらに詳細項目として、例えばアルミニウムの下には「鋳造（薄）」「鋳造（厚）」「板（大）」「板（溶接）」などの項目がある。その他識別番号など入力した後にIPを読み取らせる。読み取ったデータは高詳細モノクロディスプレイに表示され、像の加工やファイル変換が可能になる。

また使用したIPは読み取り後自動で消去されるが、強いX線を照射した場合は残像が残る場合があるので、マニュアル操作で消去することも出来る。

通常の工業用X線フィルム（1×100フィルム）との特性比較を表2-1に示す。

項 目		I P
感 度	150KV	約10倍
	300KV	約5倍
	γ線	2～5倍
ダイナミックレンジ		100倍

（NDIテキスト 放射線透過試験Ⅲより）表2-1

X線のエネルギーにより感度は大分違うが、おもしろいことに露出が適正露出とかなり違っていても、きちんとした画像が出来上がる。反面、後述するが被写体がIPの中心に無いと、その反対の事象も起こってしまう。IPを読み込み込んだとき、IPの中心部にあるものが適正な画像になるようにプログラムされている様だ。

3. 実作業から

3.1 国宝〇〇城天守閣の壁（愛知県内）

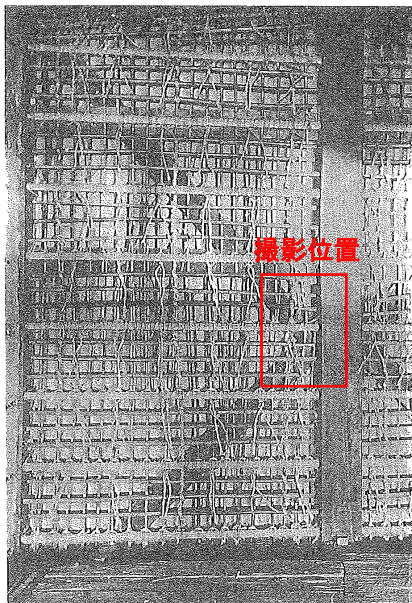
耐震調査で筋交いの接合状況（釘の寸法等）を確認した。

撮影条件：使用管電圧 90kV、焦点-壁面間距離 1,500mm、露出時間 10s

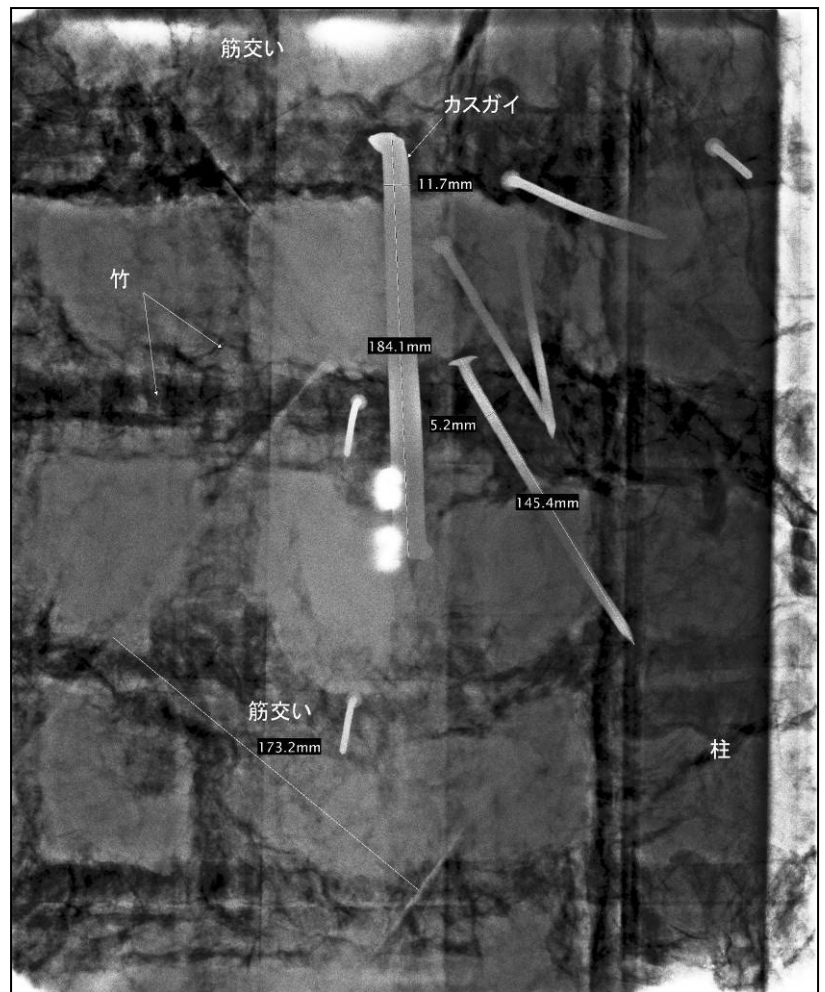
入力条件：コンクリート

■撮影結果①（1階壁）

釘は直径 5.2mm・長さ 145mm（N150 相当）が確認できた。また、筋交い幅、カスガイの幅・長さも測定でき、木舞（こまい）の竹も確認できた。

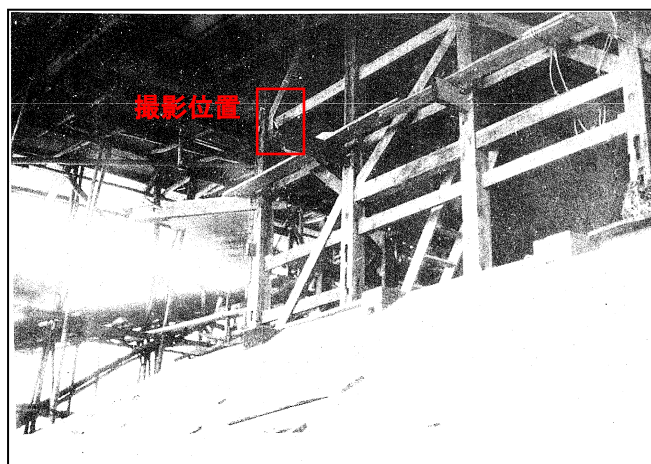


参考：改修工事時の写真

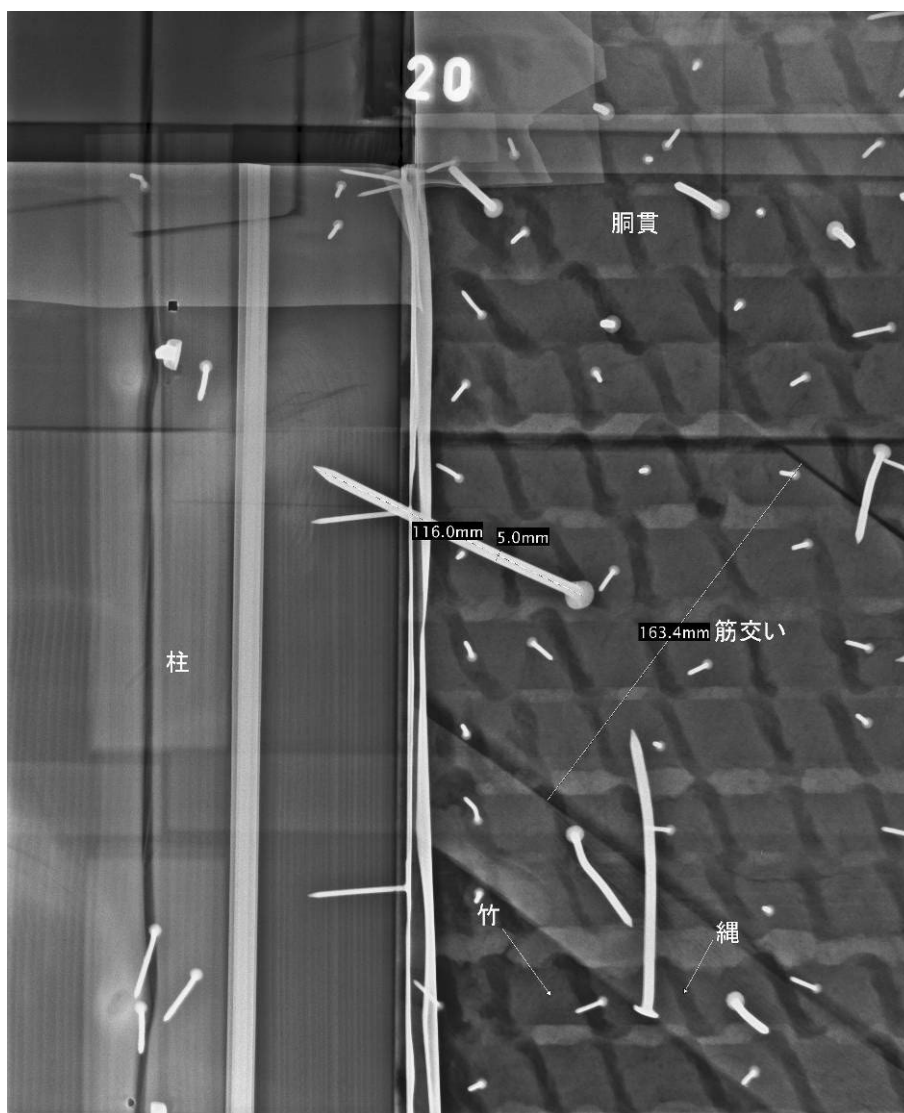


■撮影結果②（4階壁）

釘は直径 5.0mm・長さ 116mm（N125 相当）が確認できた。撮影結果①・②の画像と比較すると木舞の竹と縄がはっきり確認できた。

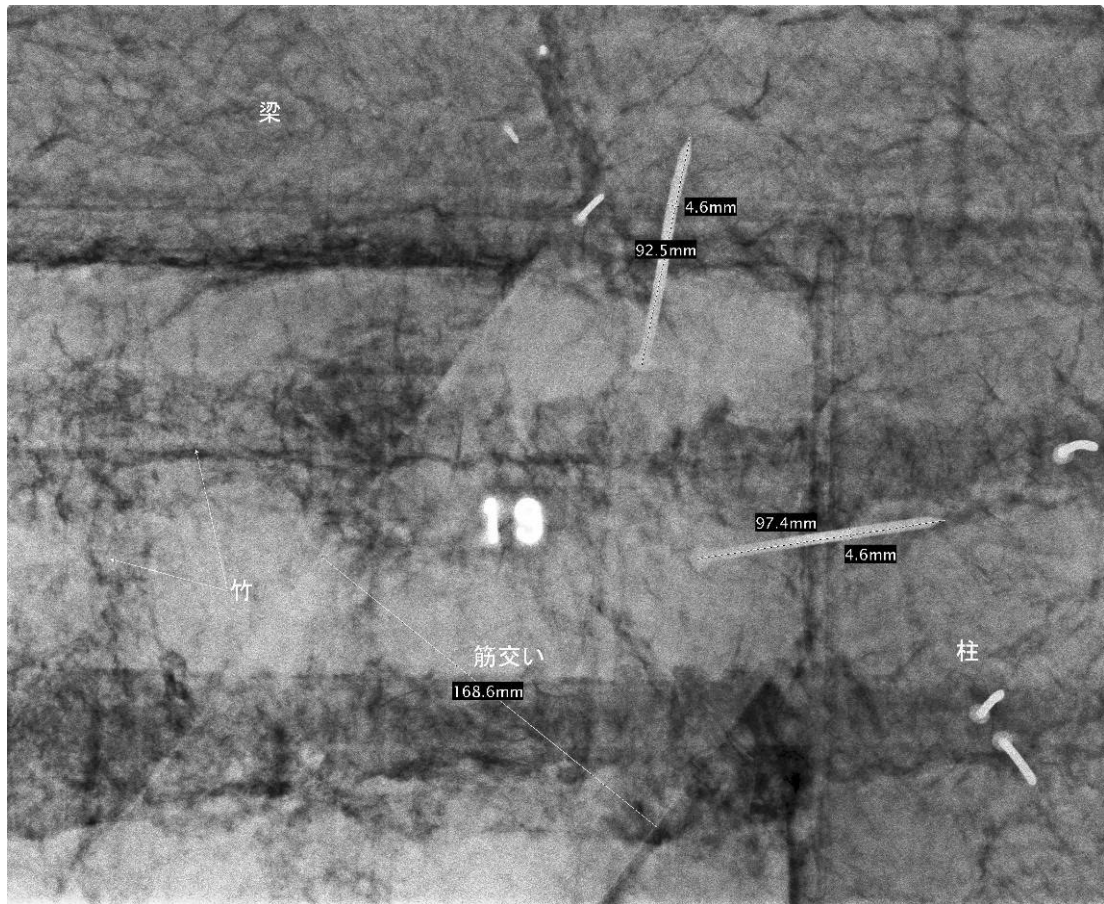


参考：改修工事時の写真



■撮影結果③（2階壁）

釘は直径 4.6mm・長さ 92～97mm（N115 または N120 相当）が確認できた。



四つ切りサイズ（252 mm×305 mm）の 1.5 倍のサイズ（354 mm×430 mm）が使用できるため、筋交いの接合状況が 1～2 枚程度の撮影で済み、画像判定が非常に楽である。また、マウスのスクロールだけで濃度やコントラストの調整が簡単にできるため、通常判定し難い画像も簡単に加工することが出来て判り易かった。

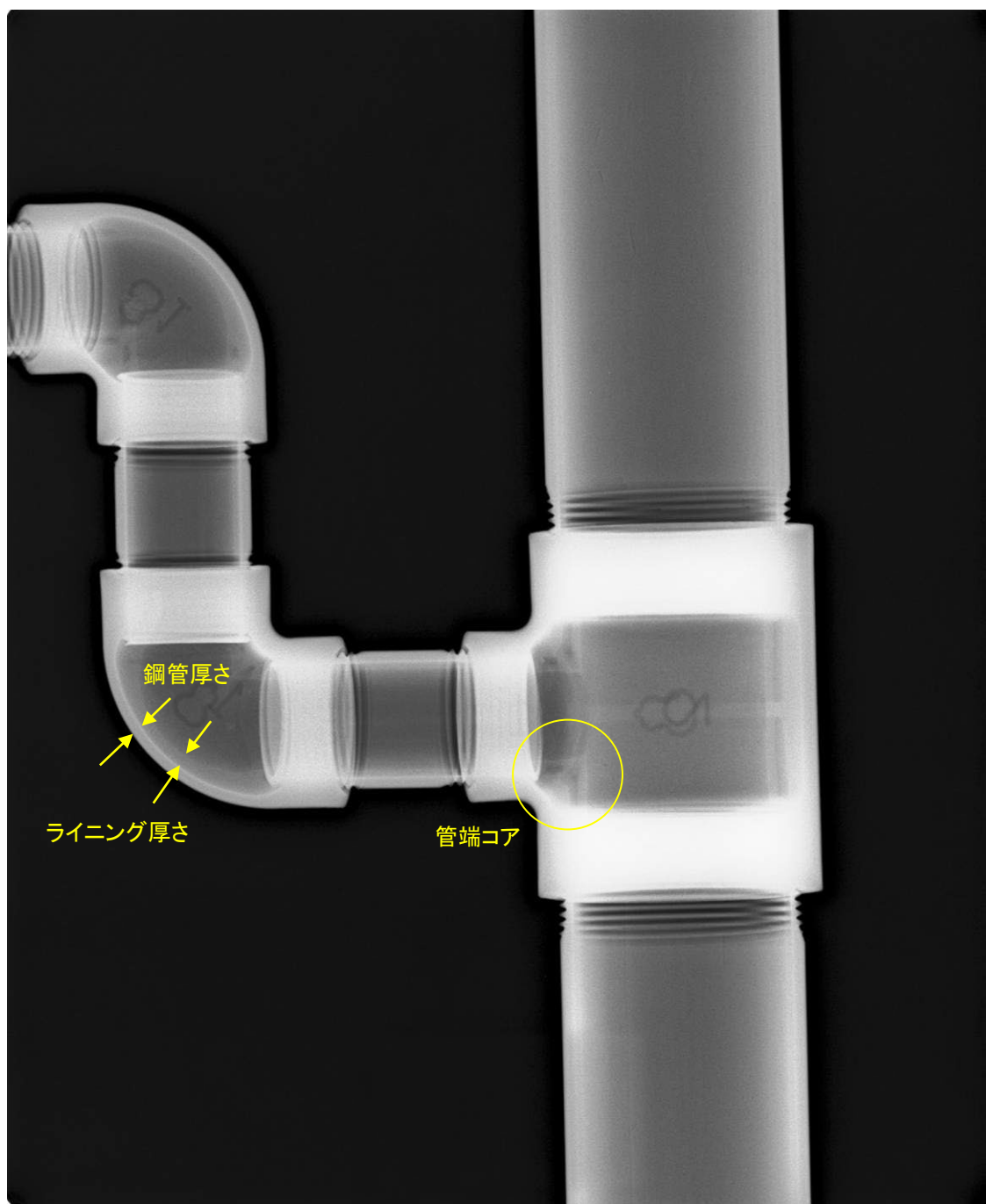
釘の寸法測定は、パソコン画面（高詳細モノクロディスプレイ）で最大 400 倍まで拡大して測定したが、これほど拡大しても解像度がよいために簡単に測定できた。

3.2 配管調査

建築設備配管の調査から

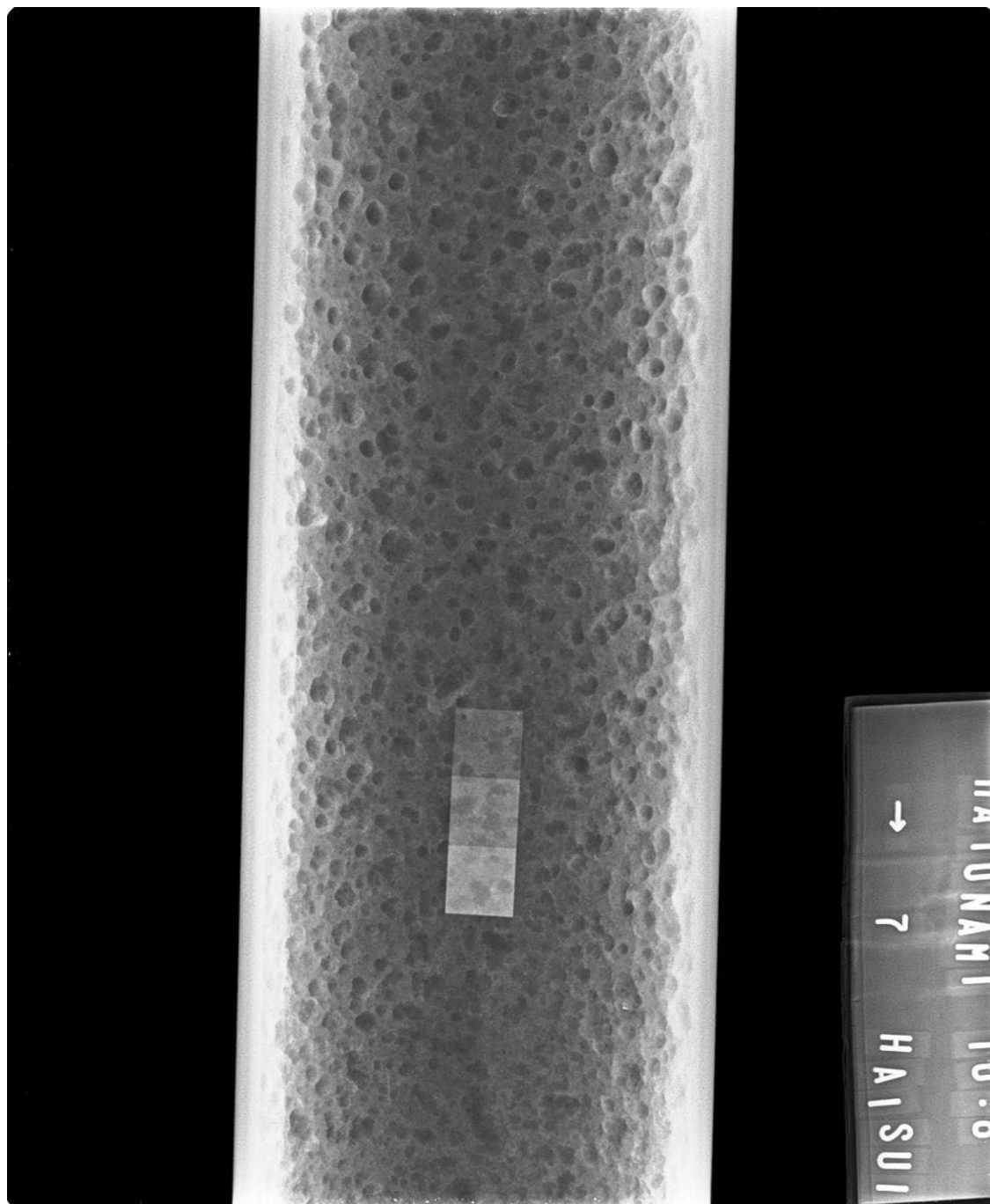
■ 50A VLP管（空管）

エルボ内部のライニング厚さや管端コアが見える



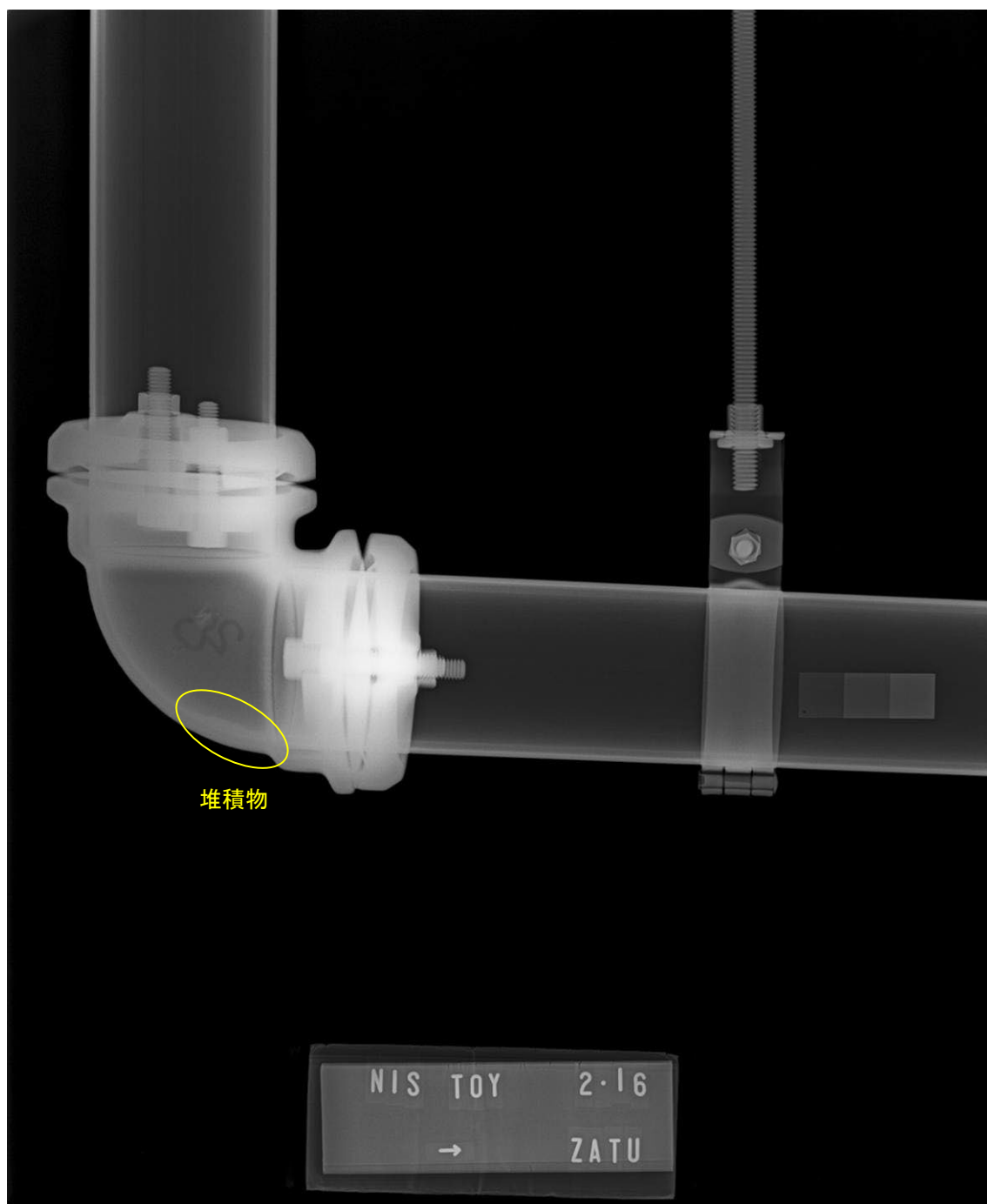
■ 100A 污水管（鑄鉄管）

大きな錆こぶを伴わない鑄鉄管特有の腐食がよく判る



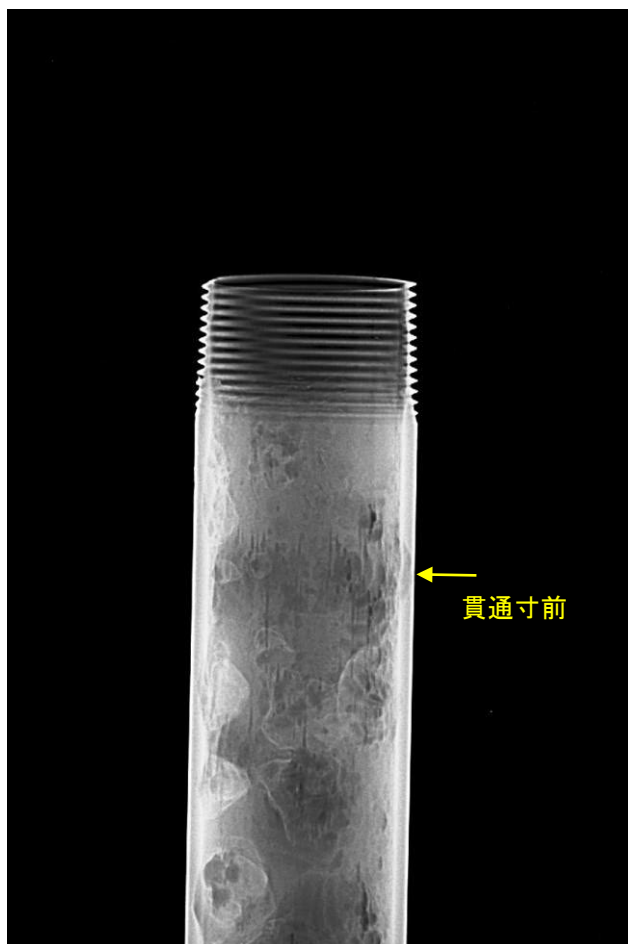
■ 50A 汚水管 DVLP管

腐食の発生はなく、内部のライニングが良く判る。勾配があるので滞留物はなく、わずかな堆積物がエルボ部に見られる。



■ 40A 雑排水管 SGP管（サンプリング管）

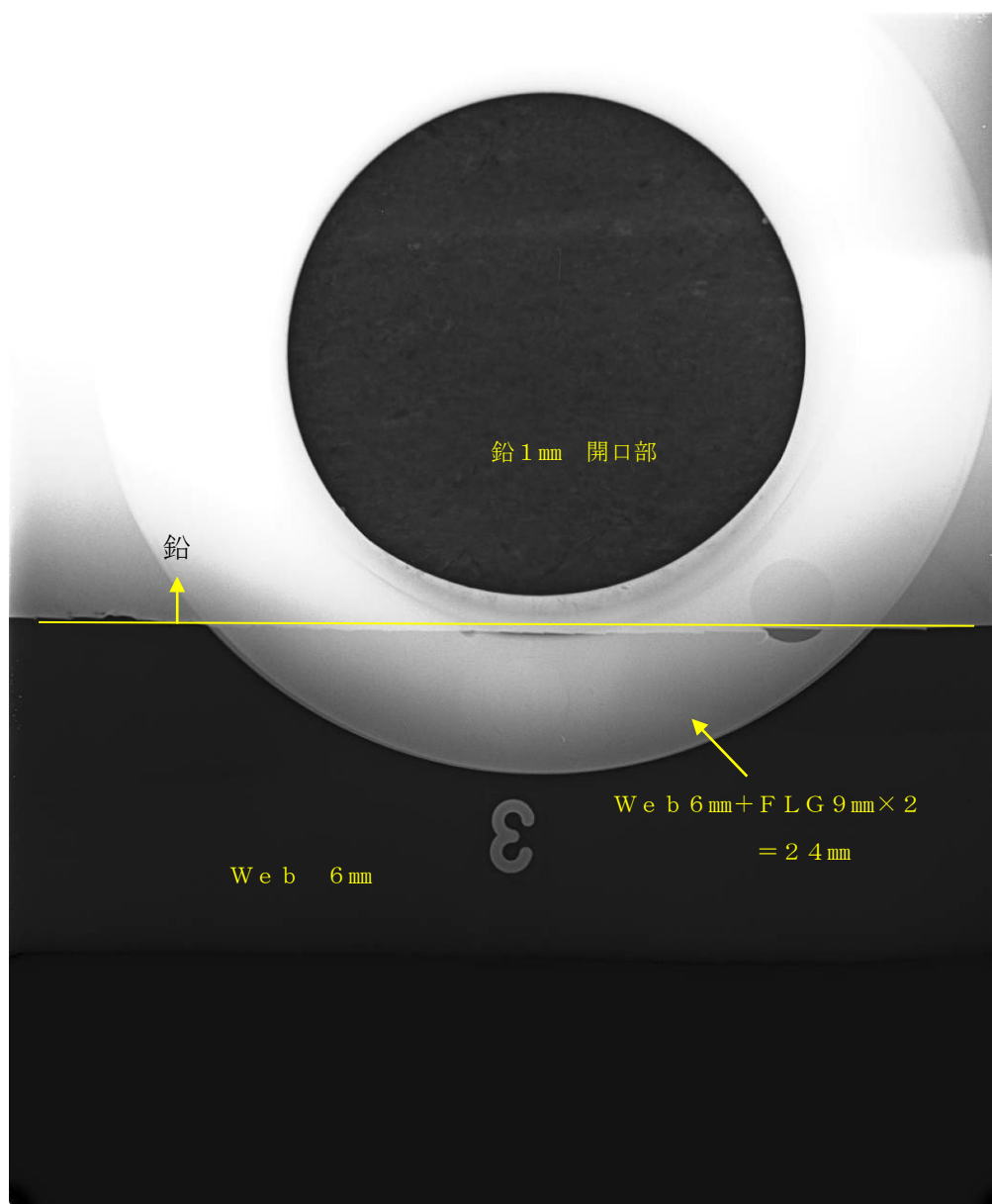
内部の錆こぶに立体感があり、管壁の腐食部が良く表現されている。



3.3 栓溶接

鉄骨梁のweb開口補強用のリングで大臣認定品である。外周にネジを切ったスリーブを開口部に差し込み、両側からフランジをねじ込みフランジの穴を栓溶接で埋める構造となっている。某大手設計会社から栓溶接の健全性を問われ、UTとRTをおこない、検査後切断してマクロ試験をおこなった。UTをおこなった後に裏表計8箇所の栓溶接部を撮影した。

Web 6mmを厚さ9mmにフランジで挟んで、栓溶接をおこなっている。中心の黒い部分はスリーブ開口で、散乱線をふせぐために厚さ1mmの鉛板をかぶせている。文字「3」を置いている部分の厚さは6mmで、フランジ部分はWeb + 2枚のフランジ厚で合計24mmあり、薄い板の上に置いたマークがつぶれずに良く写っている。

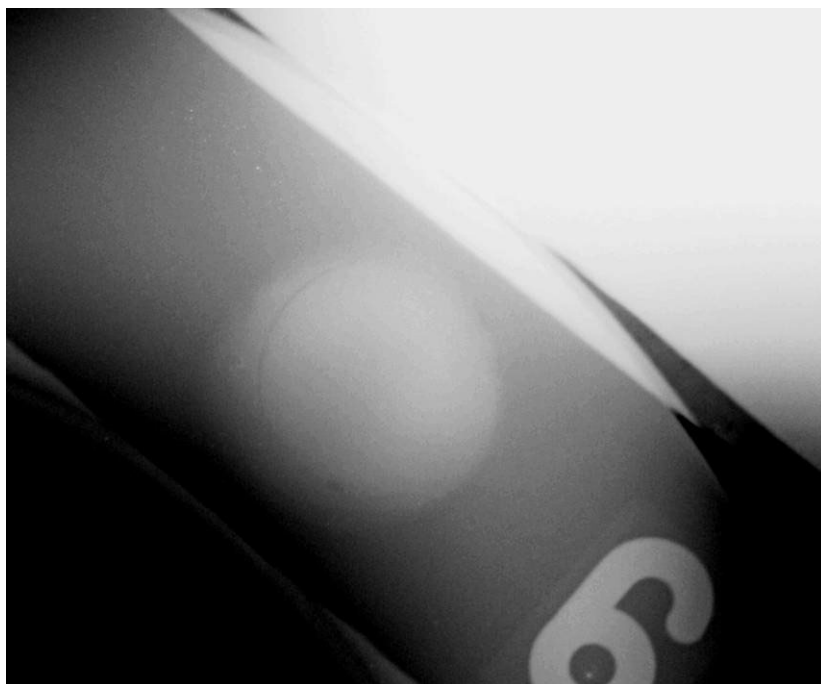


前ページの写真撮影後、X線の焦点を栓溶接の中心にしっかり合わせないと「溶込み不足」が良く写らないと考え、FFDを400mm程度にして撮影した。



全周に栓溶接初層角部の溶け込み不良が写った。

F C R 撮影直後にまったく同じ条件・撮影配置で、工業用 X 線フィルムで撮影した



I P

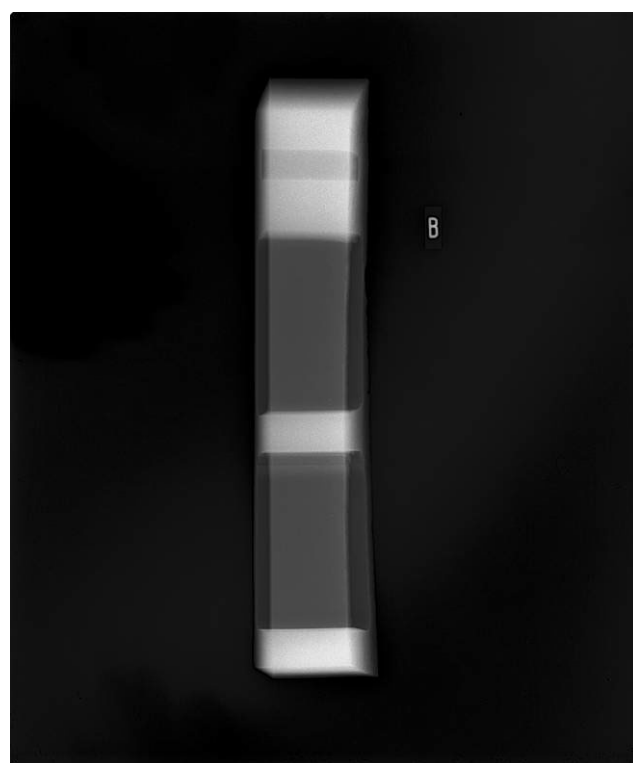


フィルム

従来のフィルムの方がよく溶込み不良が写っている。I P、フィルムともパソコン上で画像処理をおこなったがフィルムに軍配が上がった。

3.4 セラミック製建築材料

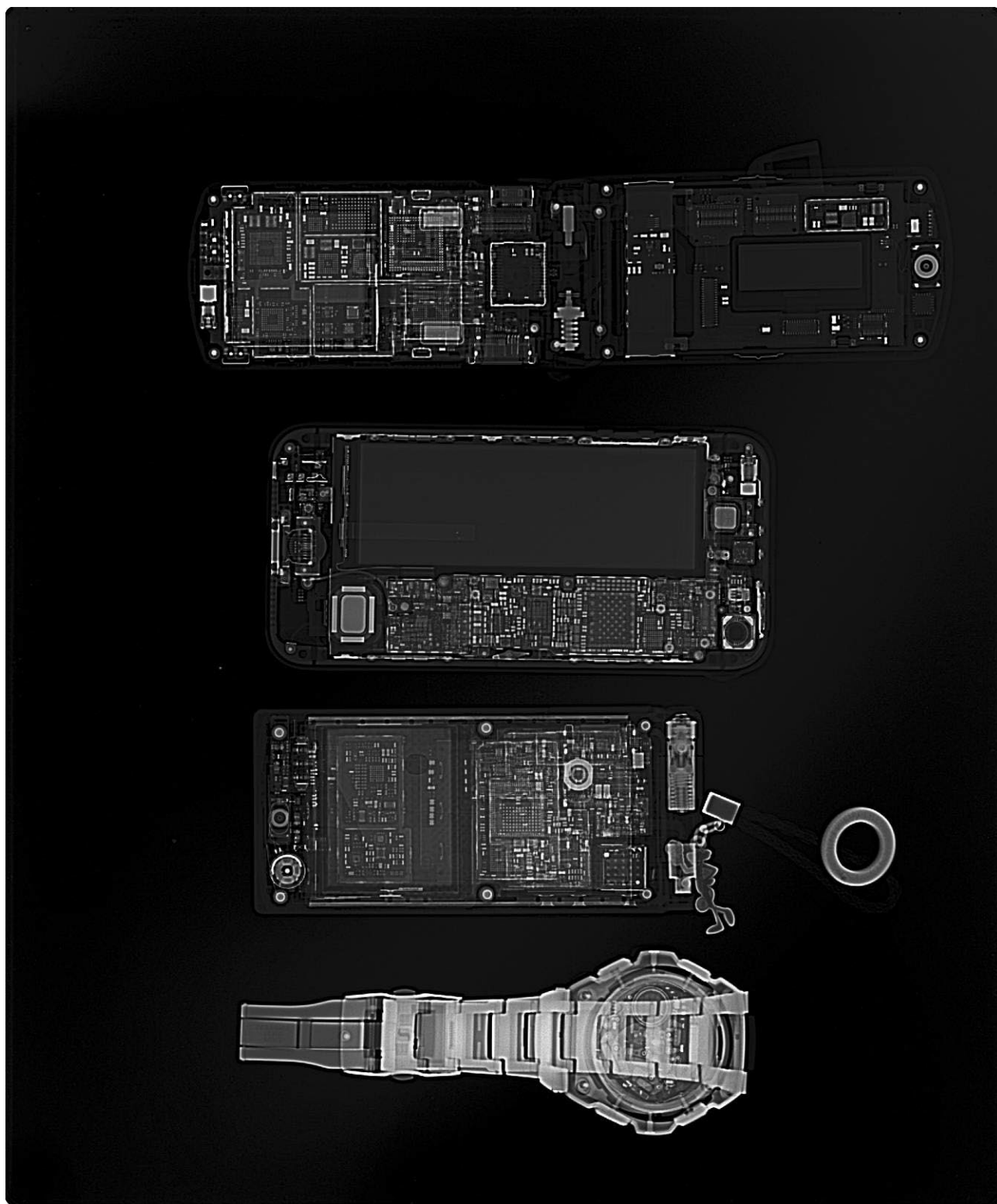
割れの疑いがあるセラミックス製の建築外装材を撮影してみた。



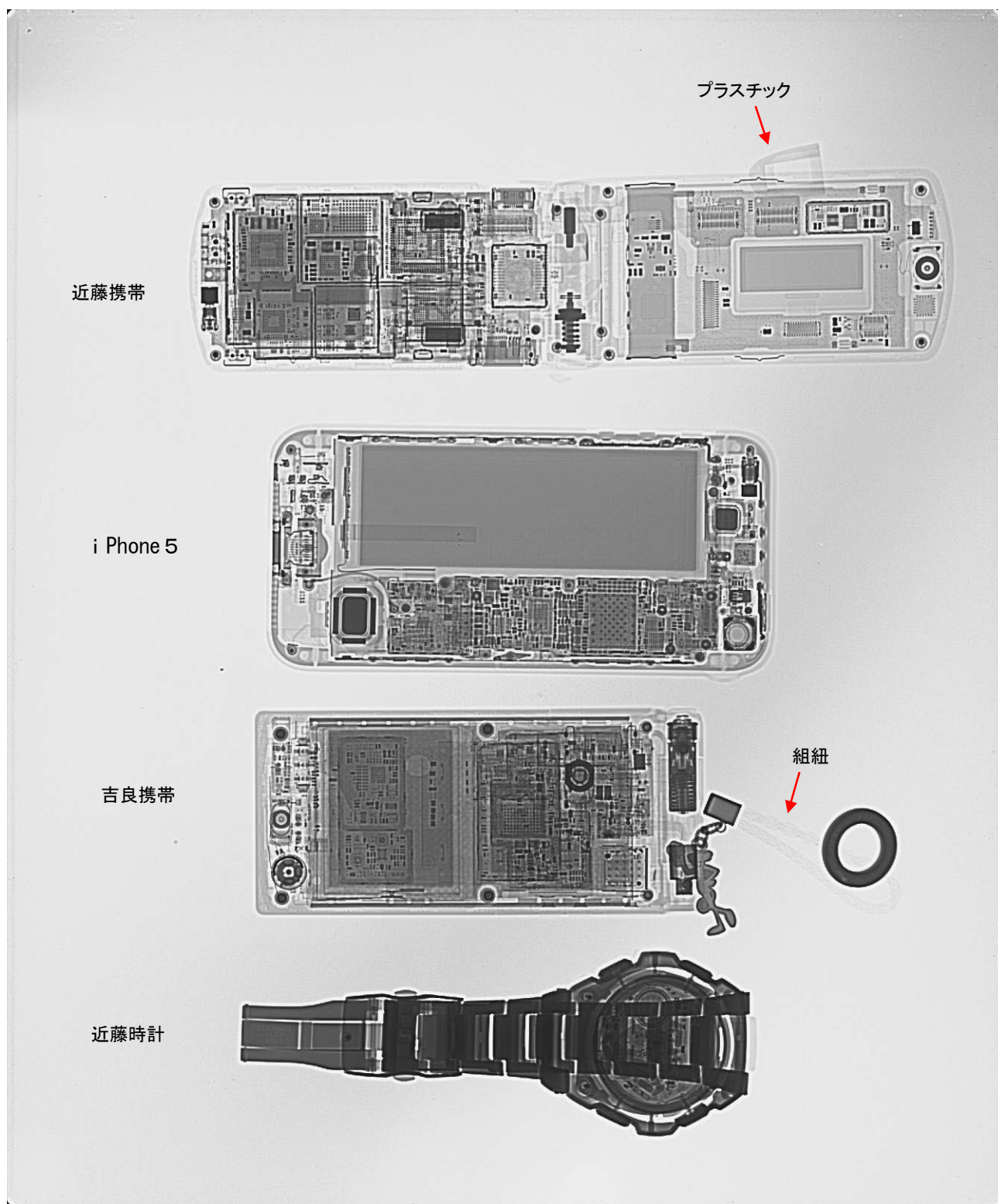
板厚差がかなりあるが、割れが入っていれば判るような気がする。

3.5 おまけ

3.4のセラミックを撮影した後、名古屋営業所探査グループの吉良君のiPhone 5と携帯、近藤の携帯とカシオGショックを並べて撮影した。



i Phone 4のバッテリーが大きいことが良く判る。



白黒反転画像。プラスチックや金属が混在しているのに両方ともよく見えている。
「近藤携帯」の右上のプラスチック単体の部分や「吉良携帯」の右側「組紐」の部分と同時に時計内部の回路が見えていることには驚いた。

4. 課題

4.1 読み込み時の処理

このシステムはIPを読み込んだ時、自動的に画像処理をおこない表示側のパソコンにデータを渡している。マニュアルにも記載されていない事であるが、このときの処理はIPの中心付近にある被写体が最適に表現されるように処理がされているようで、写真4-1の様に画面左側のVLP管(50A)に露出を合わせ撮影したにもかかわらず、表示画面に出てきた画像は枝管のVP(20A)に露出を合わせた様な仕上がりとなっている。その後数回にわたり露出を増やし撮影したが、ことごとく中心部のVPが最適に表現された画像が得られた。同じ条件でVLP(50A+20A)を中心において撮影した画像は問題ない仕上がりとなっている。

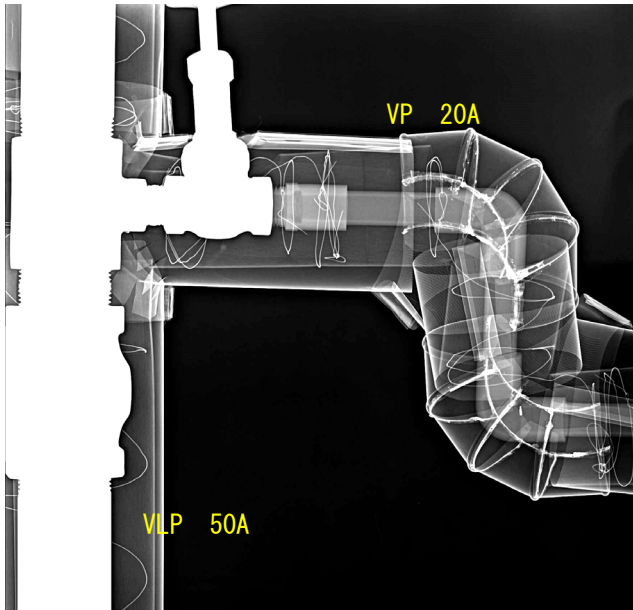


写真 4-1

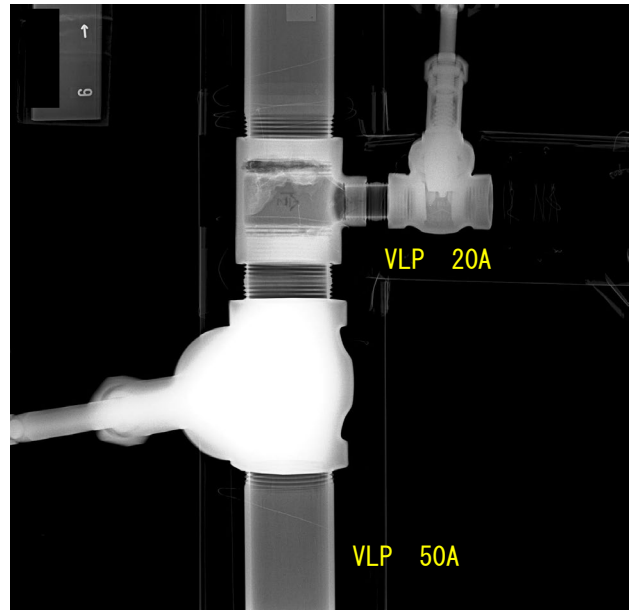


写真 4-2

撮影条件の同じ写真 写真 4-1 VLP 50A と VP 20A の同時撮影

写真 4-2 VLP 50A+20A 単独撮影

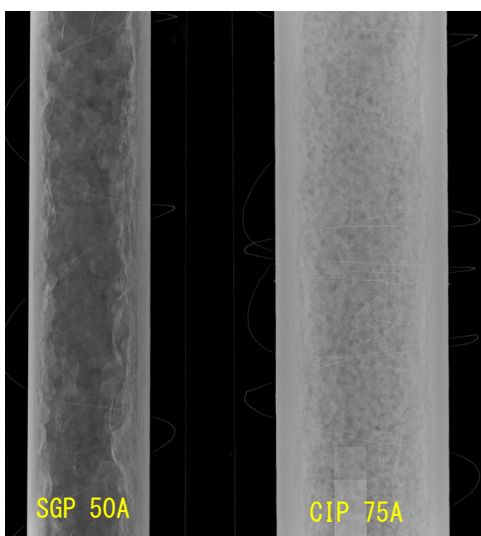


写真 4-3 SGP50A と CIP75A

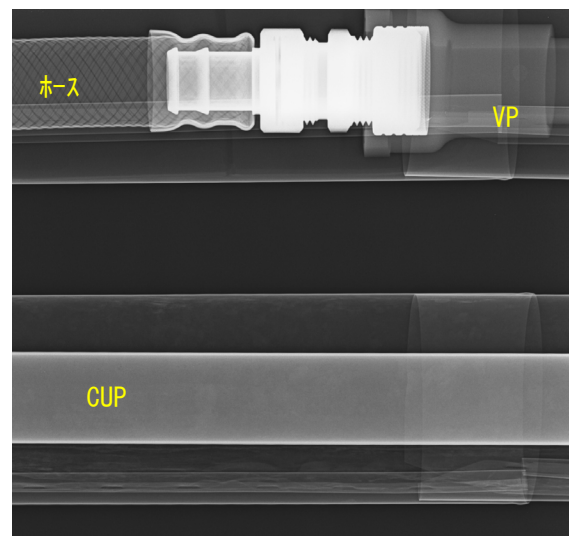


写真 4-4 CUP と VP

同じような吸収(厚さ+吸収係数)のものが並べば適正に撮影できる例

4.2 カセットの問題

基本的にIPは専用カセットに入れて使用するが、このカセットが高価で四つ切りサイズ(252×303)で64,000円、とても高価でしかも柔軟性がないので、すでに導入している検査会社の例にならい、IPを撮影時はゴムカセットに入れ、読み込むときには専用カセットに入れ直して読み取りをおこなったが、IPにゴミが付着する確率がかなり高い。



写真 4-5

専用カセット 左から

150 mm × 300 mm

252 mm × 303 mm

354 mm × 430 mm

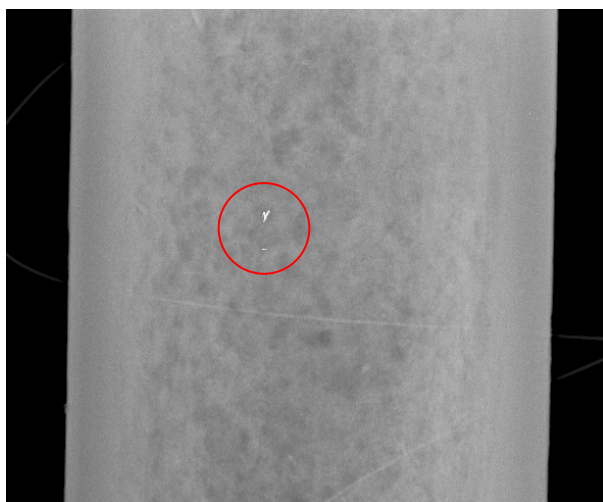
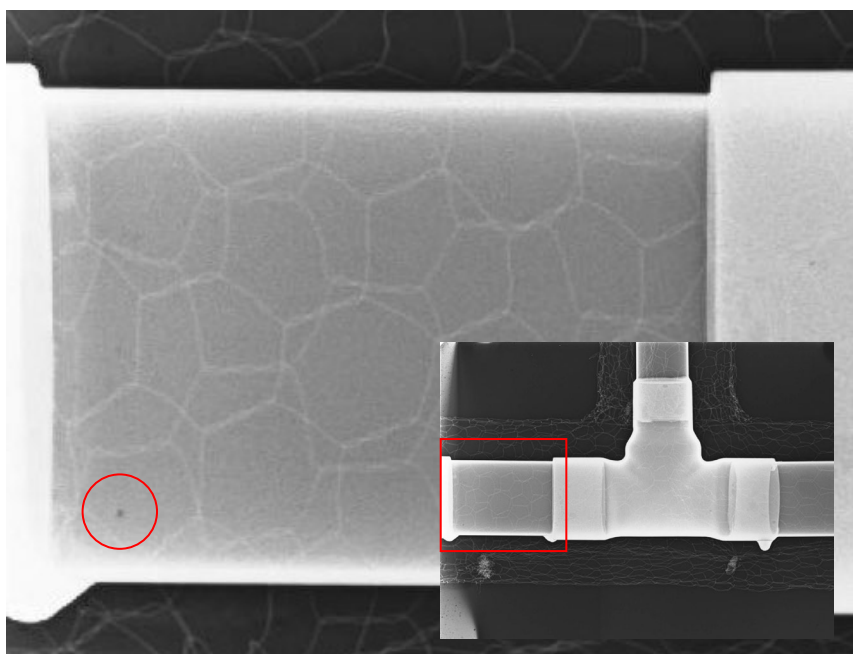


写真 4-6 上 :

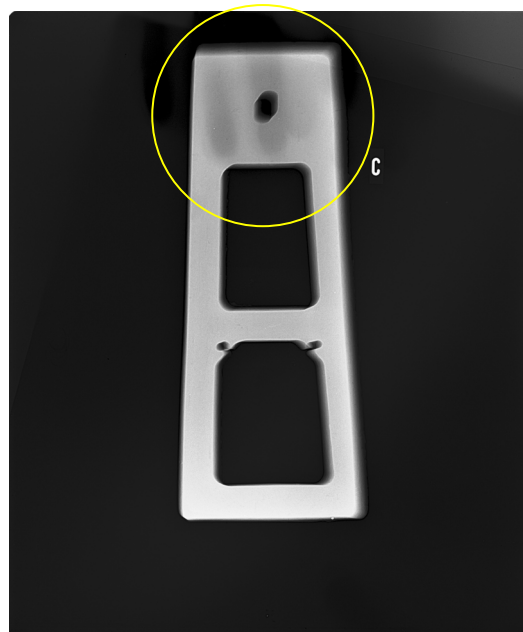
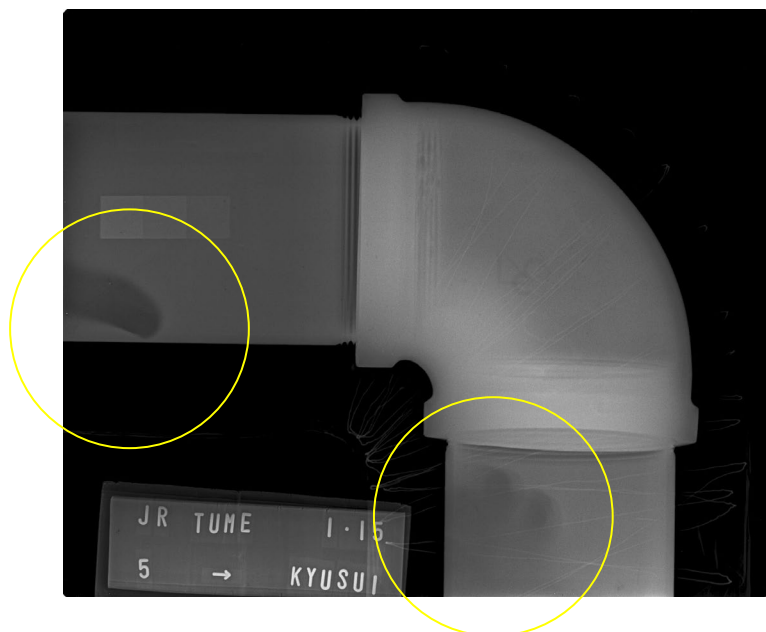
CUP を撮影した画像に現れた黒いシミ。CUP 特有のピンホールと間違えやすい。

写真 4-7 左 :

CIP 白点なので「付着したもの」とすぐに判るがフィルムの価値がさがる。

4.3 カブリの疑い

I Pはフィルムと異なり「光には感光しない」という話を富士フィルムの技術者からも聞いていたし、ND Iのテキストにも書いてあるが、感光する疑いが出てきた。



カブリといっても指の跡が黒くぼけた画像で現れるものであり、指の熱で“感光”したような感じもする。普通に考えれば、I Pを持った手の影が白色光で被った場合は白く写る筈であり、最初はI Pを強く持ったための「圧痕」にも見えたが、I Pに対して力の掛からない部分まで写っているのが被り的なものだと思うようになった。白黒反転している理由は判らない。

4.4 残像の問題

レーザースキャナーでI Pに記録された情報を読み取った後、内部で自動的に消去されるが、強いX線の場合は、I Pに情報が残る場合があり「マニュアル操作」で消去する。しかし、ときどき過去に撮影した画像が浮かび上がってくることがある。理由はまだ分からない。

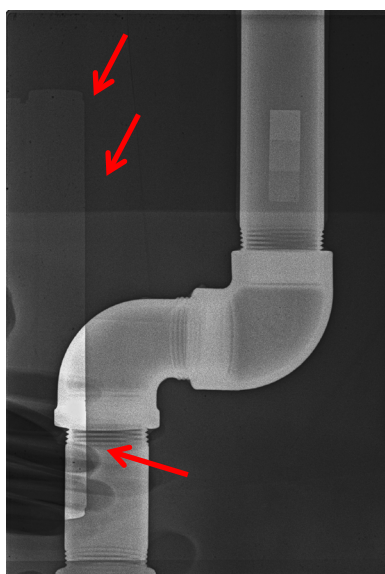


写真 4-6 残像と手

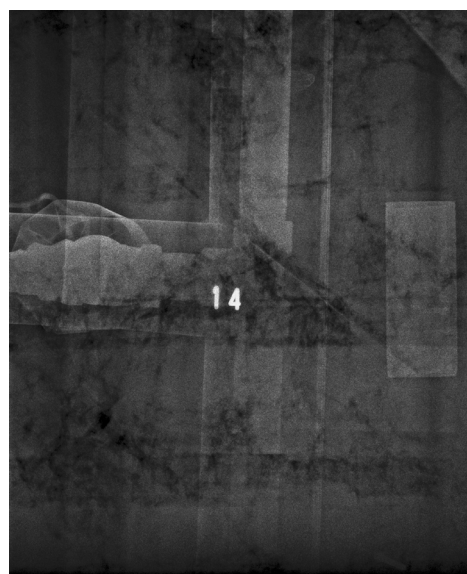


写真 4-7 ○○城の土壁の中に配管？

4.5 搭載車両

銀塩写真の場合は車のバッテリーからの暗室電球やシャーカステンだけで現像可能であるが、F C Rには十分な容量の電気が必要で、コインパーキングに駐車した場合や100Vの電気が支給されない場所などでは“現像作業”が出来なくなる。そこで車載のバッテリーとは別にF C R駆動用のバッテリーを積載しインバーターでAC100Vに変換して使用している。当初の計画では車のダイナモから充電する予定だったが、バッテリーの容量を大きくしすぎた様で、AC100Vからのみ充電する形式になってしまった。フル充電に要する時間は100V電源で約10時間（実測はしていません）、現場で8時間F C Rを使用して半分も減らないため安定性を求めすぎ、バッテリー容量を大きくしすぎたかもしれない。（プリウス搭載のバッテリーという話）



写真 4-8 後部全景



写真 4-9 バッテリー

また、ハイエース後部にはオプションでパワーゲートを取り付けた。名古屋営業所では月極駐車場を利用し、過去に新車のハイエース盗難1回、車上荒らし3回の被害を受け、F C R専用車といっても積みっぱなしにする勇気はなく、スキャナーやパソコンなどを載せたユニットを作業のたびに積み卸している。

4.6 354 mm×430 mmサイズのカセットは天井に干渉

354 mm×430 mmサイズのカセット読み取り時、車内の天井にあたって挿入出来ない為、スキャナーをパワーゲート上で読み取らせている。同業他社は保冷車の様なアルミバンタイプのトラックを改造して使用しているが、ビルの地下駐車場に出入りする会社とプラント内で作業する会社の違いで仕方のないところだ。



写真 4-10 カセット読み取り



写真 4-11 最大サイズカセット読み取り

4.7 コンクリートへの適用

コンクリート厚さに対する適応限界がまだはっきりしていない事、ケガキをどのようにトレースするかを思案中です。

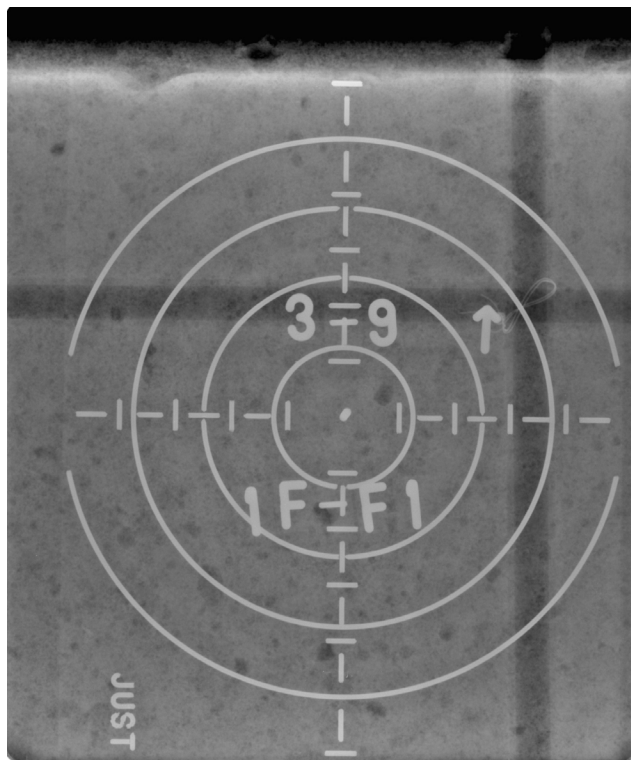


写真 4-12 厚さ 100 mm



写真 4-13 厚さ 300 mm

5. まとめ

カメラと言えばデジタルカメラしか思い浮かばなくなった昨今、昔ながらにフィルムを使用し、一連の現像（プリント）という手順で写真を完成させているのはコンクリートの埋設物探査くらい・・・、いずれ銀塩写真は無くなるのでは？と思い、早めにF C Rを導入してF C Rによる探査技術を確認しておかなければならないと考えこのような高価な機器を導入してもらいました。残念ながらまだコンクリート探査の分野では「けがき」のよい方法が思いついていませんが、保守検査、調査の分野では活躍をはじめました。

名古屋営業所では配管の劣化調査を多く手掛けていますが、保守検査におけるF C Rの「表現力」は大変すばらしく、一度使ったらフィルムには戻れない気がしました。能力以外の部分で今までの銀塩写真と大きな違いは、報告書に載せる写真を作成するためにフィルムをシャーカステン上でデジカメに写し取る作業もなくなりました。スキャナーで読み取った画像は、メインのパソコンに保存されそこで加工しUSBメモリーで自分のパソコンに持ってくるだけです。ただし、メインのパソコンのディスプレイがモノクロ高詳細なので、自分のパソコンで画像を見ると大分画質が劣って見えます。

現在問題となっている 4.3、4.4 で述べたカブリなどは最近になって、露出後の感光（ゴムカセットから読み取り用カセットへの移し替えの際）で生じる事が一因だと言うことが判ってきました。

（初期の富士フィルムの説明では、IPは光に感光しないと言うことで、取り扱い暗室ではおこなっていませんでしたが、非破壊検査協会のRTⅢテキストには、露光後読み取り前は光を当てることは避けなければならないと記載がありました）原因は銀塩写真の増感法で言う「後露光」「前露光」の様な現象で、量子的に言えば光の粒子（フォトン）が例えばフォトンが5個吸収されると「感光」現象が起きるIPの一部分に、フォトンが3個まで入っているとして（以前の撮影の記憶が残っている）、移し替えの時に感光させ2個上乘せして「カブリ（感光）」が生ずる、という現象のようです。つまり、強いX線を当てたIPでは、読み取り後の「自動消去」に加え「マニュアル消去」をおこなっていても、IP内部にわずかに情報が残り、そのIPをやや露出不足の撮影に使用すると、IPのスキャナーがわずかに感光した部分まで情報を「掘り起こし」結果として、以前露出した画像が現れてくると言うことのようにです。FCR用に作成した車両は暗室を装備しなかったため、読み取り用カセットの中だけでIPを運用するか、ダークボックスを作成するなどして四つ切りサイズまでは何とかかなりそうです。

現在まで一体どのくらいのFCRが検査の現場に導入されているか調査したところ、国内で「非破壊検査会社」では約200台と言うことでした（非公表だそうです）。非破壊検査会社では導入している会社が限られています。理由は

- ①高価なのである程度の規模を持つ会社しか導入できない
- ②多くの石油・化学プラントの保守検査をおこなっている元請検査会社は常識となりつつある
- ③新設の溶接部検査をおこなっている会社は少ない（溶接部の判定基準がない）

反面、自動車部品などの製造業では数多く導入されているようで、約400台が稼働しているとのことで（これも非公表だそうです）、アルミ鋳物など厚さの変化が大きいものはダイナミックレンジの広いFCRの独壇場のようにです。FCRを利用した透過写真の規格は国内では動きのあるものの、JISとしてはまだありませんが、国内で製造している航空機にはASTMやASME-Section VにおけるD-RT規格が適用されて、名古屋周辺の航空機メーカーやサプライヤーには解像度の高い機種をフジフィルムは売り込んでいるようです。

今後の課題は

- ①かぶりや残像の原因をはっきりさせ、それらの現象が一切起こらないようにする
- ②コンクリートへの適用実験を多くおこない、「けがき」手法を確立させる
- ③土木のコンクリートへの適用実験をおこない、厚さの限界を明らかにする