歯学科２年生　放射線学総論

- エックス線画像形成と歯科用デジタルエックス線画像診断システム（2024/12/04　1・2 限）担当：池
- 医療情報システム（2024/12/11　1 限）

1. エックス線撮影装置とエックス線画像の形成

（1）エックス線撮影装置

① 歯科用口内法用エックス線撮影装置（口内法エックス線撮影装置）

口内法撮影は、検出器を**口腔内**に挿入、保持して、エックス線画像を取得する撮影方法である

- ヘッド（エックス線発生装置）：　エックス線の発生に必要な部品が格納されている。照射孔には指示用コーンが取り付けられている。
- アーム：ヘッドの支持部
- 操作パネル：　エックス線の発生、撮影条件を決定する装置。主にタイマーによってエックス線の照射を制御する。
- 照射スイッチ：撮影室の外に設置。デットマンスイッチ※が利用されている。
- 検出器・フィルム：　画像の表示
- 撮影補助具：検出器・フィルムを口腔内に保持するための補助具⇒　円の部分にコーン先端を合わせる

口内法撮影装置

照射時間の設定：
撮影部位ごとに照射時間を変えて撮影する必要がある.

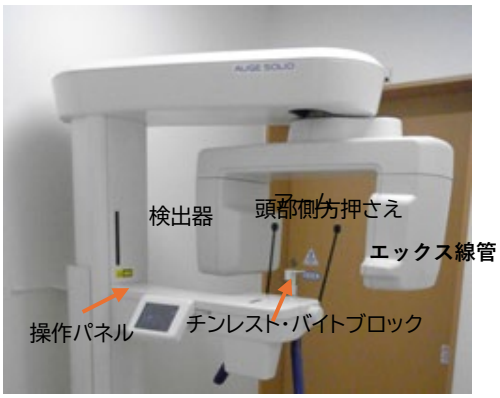
操作パネルの例

② パノラマエックス線撮影装置

パノラマエックス線撮影とは、１枚のエックス線像として、歯および口腔顎顔面領域の総覧的な画像を得るための撮影法である。

- エックス線管
- 検出器（フィルム、カセッテホルダー）
- アーム
- 頭部固定装置（チンレスト、バイトブロック）
- 操作パネル
- 照射スイッチ

パノラマエックス線撮影装置



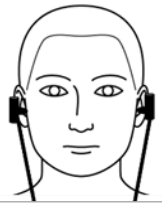
パノラマエックス線撮影は、目的部全体が断層域に含まれる必要があり、撮影時は、頭部固定が重要である。

③ エックス線規格撮影

頭部位置づけの角度や焦点-被写体-検出器間距離を規格化して撮影することによって、撮影されたエックス線画像上における像の角度や拡大率が一定となる撮影法

- エックス線管
- 検出器（フィルム、カセッテホルダー）
- **セファロスタット**：
  イヤーロッド（外耳孔に挿入）。鼻根固定具が付与されたタイプもある。

頭部エックス線規格撮影装置



撮影時は, イヤーロッドを外耳孔に挿入する.

焦点-正中矢状面-検出器間が一定に保たれ、一般的に焦点-正中矢状面距離は 150cm、焦点-検出器間距離 165cm に設定される場合が多い。このため正中矢状面上の構造は、1.1 倍の拡大率で投影される。

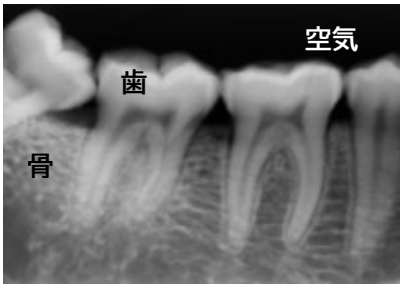
（２）被写体コントラストとエックス線画像形成

患者を通過したあとのエックス線の分布は部位ごとに異なる。これを**被写体（エックス線）コントラスト**という。被写体コントラストは次の３つの因子によって、その大きさが左右される。

① 被写体それ自体の構造・構成 → 厚さ、密度、原子番号
② エックス線の線質 → 管電圧、濾過
③ 体内で発生した散乱線の量 → 照射野（照射容積）、管電圧

エックス線管から発生したエックス線が患者を通過して検出器（フィルム）に到達し、画像が形成される。検出器に到達したエックス線の量に応じて、濃度差が生じ、多様な黒、白、灰色が混在する投影画像として描出される。

生体（物質）	物質のX線の吸収	通過後のX線の量	画像
軟組織，空気 X線を通しやすい	小	多	黒
骨，歯，金属 X線を通しにくい	大	少	白



口内法デンタル画像の例
（右下大臼歯部）

（３）散乱線とその除去

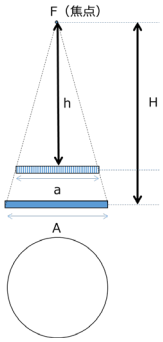
① 照射野を必要最小限に絞る
② グリッドの使用
③ 被写体とフィルムの距離を離す

2. 焦点・被写体・フィルム（センサー）の幾何学的関係

（１）拡大　**拡大率＝H/h**

H：焦点フィルム間距離　h：焦点被写体間距離

エックス線は焦点で発生し、円錐状に広がりながら被写体、検出器の方向へ進む。そのため、被写体と検出器の距離が大きくなる、拡大率が大きくなる。



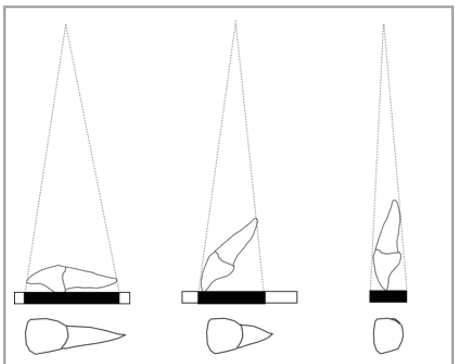
像の拡大

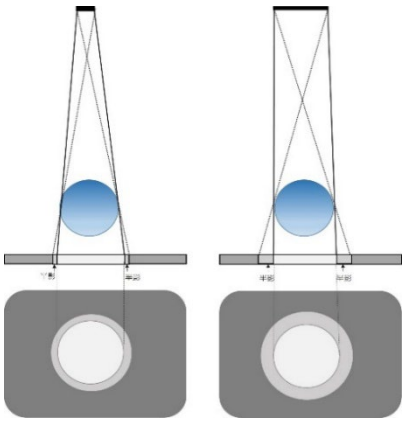
（２）ひずみ

被写体と検出器の距離が大きくなると、拡大が生じる（像の拡大参照）。被写体と検出器が平行でないときに（エックス線の進行方向に対して斜めの位置関係の場合も）、被写体の位置による拡大率の差が生じ、被写体はひずんだ形で画像上に写し出される。

（３）半影

エックス線管の焦点は、実際には面積があるため、被写体の辺縁に沿って滲んだような不鮮明な領域ができる。これを半影とよぶ。半影が大きいほど、画像はぼける。半影の大きさは、焦点・被写体・検出器の相対的位置に影響される。

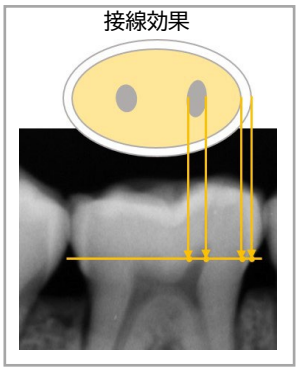

像のひずみの例
（被写体と検出器が平行でない場合）


半影の模式図　焦点の大きさの違い

焦点の大きさ	被写体と検出器の距離	
大	大 被写体と検出器が遠い	→ 半影が 大きい
小	小 被写体と検出器が近い	→ 半影が 小さい

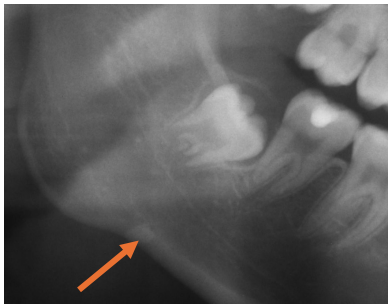
（４）接線効果

被写体の隣り合う構造の境界面に接点をもつように、エックス線が入射されると、その構造の輪郭が明瞭に描出される。このような現象を接線効果という。エナメル質、象牙質、歯髄腔などの輪郭は、接線となった部分が描出されたもの。



（５）重積

エックス線の入射方向に対し、２つ以上の構造が、前後に位置する場合、エックス線の透過性の違いによって、エックス線画像として描出可能な時と不可能な時が生じる。これを重積という。臨床において、下顎管と埋伏智歯、上顎中切歯と埋伏過剰歯、顎下腺に生じた唾石と顎骨が重積像として観察される。



顎下腺導管内に生じた唾石が下顎下縁皮質骨と重なって投影され、唾石が皮質骨の不透過性に隠れている。

3.　フィルムと増感紙

エックス線画像は、エックス線管から照射されたエックス線が被写体（患者）を透過して、受像系に到達し形成される。歯科臨床において使用されている受像系は、検出器とエックス線フィルムの２つに大別される。

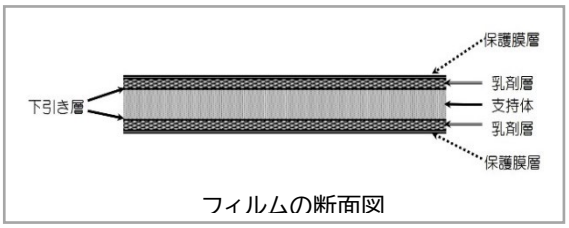
（１）フィルム

①　エックス線写真とフィルムの種類

フィルムの種類	増感紙	フィルムの特徴	使用される撮影法
スクリーンタイプフィルム	要	・増感紙から発光される蛍光に対する感度が高い	口外法
ノンスクリーンタイプフィルム	不要	・X線に対する感度が高い ・X線が直接フィルムを感光	口内法

②　構造

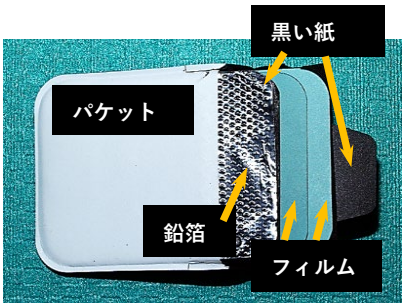
支持体、乳剤層、下引き層、保護膜層からなる。
エックス線フィルムは、両面に乳剤層を有していることが特徴である。
フィルムの感光率（感光のしやすさ、程度）は、乳剤層の厚みや、内部に含まれるハロゲン化銀粒子の大きさが関与する。ハロゲン化銀粒子が大きいほど、エックス線の感度が高く感光しやすい。



フィルムの断面図

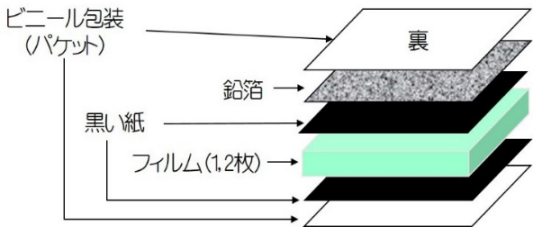
（２）増感紙

増感紙は、ポリエステルなどの支持体に蛍光物質（タングステン酸カルシウムあるいは希土類元素）が塗布されているもので、エックス線が当たるとその強度に比例した光を発する性質を持つ。この光はエックス線よりもエックス線フィルムを強く黒化させるため、増感紙を使うことで、患者に照射するエックス線の量を減らすことができる（被曝低減）。一方、蛍光の拡散が生じたり、増感紙の表面に付着した傷やほこりにより、蛍光の出方にむらが生じたりすると、画像に影響する。増感紙は恒久的ではなく、劣化するため定期的な交換が必要である。実際の撮影では、増感紙をカセッテの前後に貼り付けてこの間にフィルムをはさむ。



（３）口内法フィルム

口内法では、フィルムを口の中に入れて使用する。
標準型（30.5×40.5 ㎜）、
小児用（22×35 ㎜）、咬合型（57×76 ㎜）の３種類が用いられる。



口内法フィルムの構造

フィルムの感度には ISO 規格がある。グループ D が最も感度が低く、グループ F が最も高い。
グループ E は、グループ D の 2 倍感度がよいので、約 1/2 の線量で、同じ濃度が得られる。

- **フィルムの包装パケット： 防湿**
- **遮光黒い紙： 遮光、防湿**
- **鉛箔： 散乱線防止、被ばく低減**
- 裏表識別のフィルムマークが付与されている。

4.　エックス線写真処理と観察

（1）感光の理論

エックス線や増感紙からの光にエックス線フィルムが照射され、その結果ハロゲン化銀の結晶が現像可能となる。

（2）写真処理

①　現像
②　定着
③　水洗・乾燥

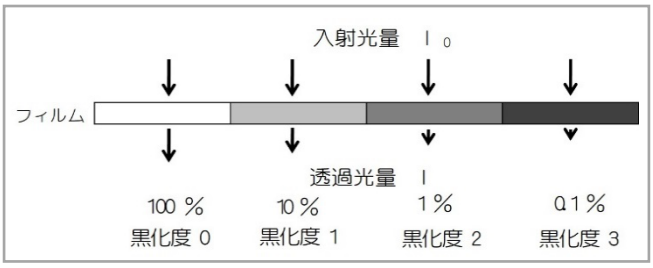
行程		液の成分
現像	ハロゲン化銀の還元. X線があたったところを中心に銀を析出.	主薬：ハイドロキノン，メトールの組合わせ（MQ型）， ハイドロキノン，フェニドンの組合わせ（PQ型） 促進剤：無水炭酸ナトリウム 保存剤：無水亜硫酸ナトリウム 抑制剤：臭化カリウム
中間水洗	現像液と定着液による中和を防ぐ	
定着	現像されずに残ったハロゲン化銀の溶解	主薬:チオ硫酸ナトリウム,チオ硫酸アンモニウム 保護材:亜硫酸ナトリウム 硬膜剤:アルミニウム塩 酸性化剤:氷酢酸
水洗	解けたハロゲン化銀と定着液を洗い流す	
乾燥	ゼラチン膜の水分を飛ばす （フィルムに傷がつきにくくする）	

（3）黒化度（写真濃度）

写真濃度（黒さ）の度合いを表す。これは、現像した後のエックス線写真（フィルム）に光を当てた時に、どれくらい光が透過してくるかを数値化したものである。黒化度は次式のように定義されている。

黒化度 D ＝ $-\mathrm{Log}_{10} I / I_0$

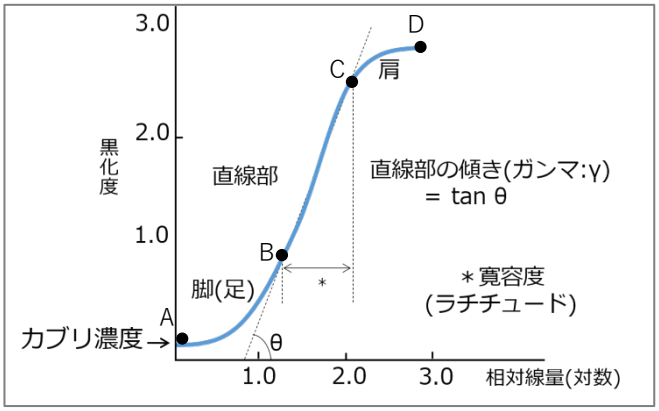
I：フィルムを通過した光量
I_0：フィルムに入射した光量



（4）特性曲線（黒化度曲線）Characteristic curve

フィルムに当たったエックス線量（照射線量）と、現像後の黒化度（写真濃度）との関係を示す曲線を特性曲線という。それぞれのフィルムの特性によって、被写体コントラストを強めたり、弱めたりすることができる。また少ないエックス線でも適切な濃度の写真にしたり、強いエックス線でも濃度を下げたりすることもできる。これらの相違を客観的に表現した曲線（グラフ）である。

A：カブリ、BC：脚（足）、BC：直線部、CD：肩



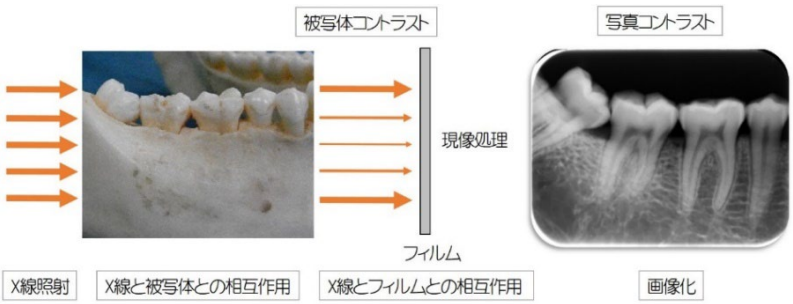
特性曲線から読み取れる指標は 4 つ。

①　感度：適切な黒化度を与えるために必要なエックス線照射量を判断できる。
②　寛容度：適切なコントラスト得ることのできるエックス線照射量を示す領域。（BC 間の幅）
③　ガンマ：直線部（BC 間）の傾き。コントラスト。傾きが強ければ、高コントラストフィルムであること意味する。
④　カブリ：エックス線を当てない部分のフィルムの黒化度。（A）

（5）写真コントラスト

被写体を通過した後のエックス線は、フィルムに到達すると、フィルムと相互作用が生じ、強いエックス線がフィルムに入射した部分ではフィルムが強く感光され、弱いエックス線が入射した部分では感光が弱く

なる。このフィルムに対して現像処理を行うと、フィルムに入射したエックス線の強弱に対応して黒化度の違いをもつエックス線画像が形成される。この黒化度の違いを写真コントラストとよぶ。
写真コントラストは、被写体コントラストの因子に、増感紙、フィルムの種類、フィルムの濃度、現像処理などの因子が加味されて生じる。



5.　デジタル撮影

（１）画像のデジタル化

①　画素
②　標本化と量子化
③　解像度と空間分解能
④　コントラスト分解能（濃度分解能）
⑤　デジタル画像のデータ量
⑥　画像データの種類

（２）歯科用デジタルエックス線画像診断システム

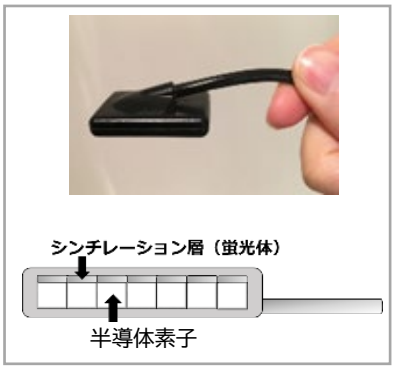
①　デジタルエックス線画像診断システムの構成
　歯科エックス線撮影に用いるのは、エックス線撮影装置（エックス線発生装置）、被写体コントラストを捉えるエックス線検出器、画像を目に見える形にする画像処理装置（画像読み取り装置）である。デジタルシステムでは、エックス線検出器として、半導体エックス線検出器や蛍光体イメージングプレート（IP）を用いる。また画像処理はコンピュータを用いて行い、モニター上で画像を観察する。

②　歯科用デジタルエックス線画像診断システムの特徴
　フィルムと比較して感度が高いため、X 線の量を減らして撮影できる。（患者の被ばく低減）
フィルム、現像装置（現像液）などが不要。撮影後の画像処理やコントラスト調整が可能。
画像データの保存、再利用、転送が可能である。

（３）<u>半導体エックス線検出器</u>

①　エックス線の検出方法
　検出器に照射されたエックス線を電気信号に変換した情報を読みとり、PC のモニター上に直接表示するシステム。受像面と電気回路を１つのユニットに組み込んだ平面検出器使用する。
エックス線検出部分（一次センサー）とその信号を検出する部分（二次センサー）で構成される。
被写体を通過したエックス線エネルギーを電荷量に変換し、その電荷量を二次元的に配置された画素ごとの読み出しスイッチを通じて電気信号として読み出す。

②　歯科口内法撮影用半導体検出器
　固定半導体方式の検出器のほとんどは、ケーブルで PC と接続されている（無線のものもある）
CCD（Charge-Coupled Device;荷電結合素子）、あるいは CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor;相補型金属酸化膜半導体）を利用しており、どちらも X 線に対して感度が低いため蛍光体を利用して X 線を可視光へ変換する。精密機器であり、使用後にオートクレーブのような滅菌は困難なため、使用時には口腔内へ挿入する検出器からケーブルにかけて、専用のビニール袋や、ラップを巻いて、感染対策を行うことが必要。



③　フォトンカウンティング検出器

フォトンカウンティング検出器では、光子１つ１つのエネルギーの解析が可能であり、白黒の従来の画像に加えて、実効原子番号画像を取得することができる。物質の組成ごとに色分けされるため、物質同定や密度計測に応用できる。

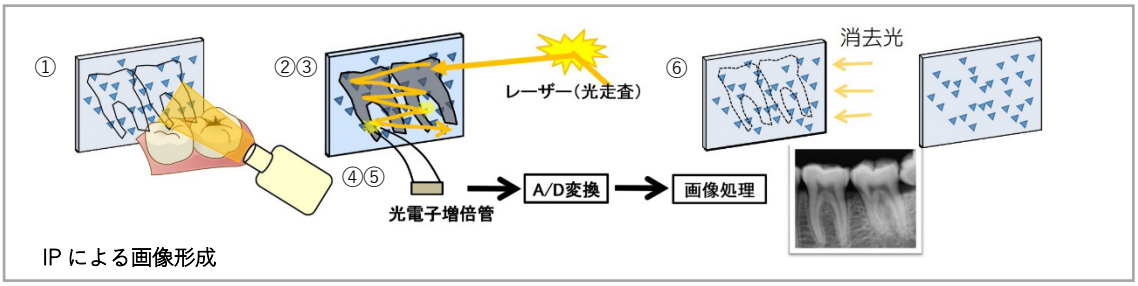
（４）輝尽蛍光体イメージングプレートエックス線検出器

①　イメージングプレートによるエックス線撮影

②　歯科用イメージングプレートシステム

蛍光体が塗布されたプラスチック板であり、この蛍光体には、エックス線情報を蓄積する働きがある。PC と接続するケーブルは有しておらず、撮影後に読み取り操作が必要である。一度読み取りが終われば、次の撮影に用いることができる（繰り返し撮影に用いる）

口内法撮影時には、検出器を専用の袋に入れて使用する。



6.　画像の評価　⇒　物理評価法（物理学的画質能）、視覚評価法（信号検出能、診断能）

（１）物理的画質

①　解像度：どこまで小さい物体を解像しうるかを示す指標

解像度は１ ㎜中に白黒のペア（ラインペア）がいくつ観察されるかを示す lp（ラインペア）/㎜で表す。(数字が高ければ解像度は高い)

②　コントラスト: 明るい部分と暗い部分の輝度の差

差が大きいほどコントラストは高いと表現される

③　ノイズ：信号の検出を妨害する雑音

画像形成に用いられる光子量が多いほど(照射線量が多く、検出器の光子検出効率が良いほど)、画像に含まれるノイズが減少する。

④　信号雑音比（S/N 比）：画像形成に用いられる信号と雑音の比を光子量の比として表したもの

信号雑音比が高いほど、画質はよいといえる。デジタルシステムは、フィルムよりも信号雑音比が高いため、同等の画質を得るための線量がフィルムよりも少なくなり、被ばく低減できる。

（２）診断学的画質

①　ROC 解析

（３）フィルムとデジタル画像の画質の違い

デジタルシステムにおいて、被写体コントラストが最終的な画像のコントラストに変換される方式は、フィルムと全く異なる。フィルムでは、被写体内での X 線減弱が大きくなるにつれて、徐々にコントラストが低下する。デジタルシステムでは、その低下が著しいが、線量に対する応答範囲が広いため、撮影後にコントラストを変更し、診断に必要なレベルまでコントラストを調整することができる。照射線量に対して対数応答する歯科用デジタルエックス線画像診断システムも開発されている。

7.　医療情報とデジタル画像の統合

（１）診療録の電子化（電子カルテ）

医療情報：診療の過程で医療従事者が知りえた情報（紙・電子媒体に関わらずすべての情報）

診療録：医師・歯科医師が作成を義務付けられている（医師法第 24 条、歯科医師法第 23 条）

⇒　看護記録、手術記録、検査所見記録、画像、紹介状、入院中の診療経過記録の要約など

（２）医療情報システム

医療に関する患者情報（個人識別情報）を含む情報およびその情報を扱うシステム
医療情報の取り扱いも医療機関等の管理者の責任で行うよう求められている（医療法等）
病院情報システム（HIS：Hospital Information System）は、狭義の医療情報システム。

① 医療情報の取り扱い　情報セキュリティの確立

＜医療情報システムに関連するガイドライン＞

「医療情報システムの安全管理に関するガイドライン」（2010 年）厚生労働省
「ASP・SaaS における情報セキュリティ対策ガイドライン」
「ASP・SaaS 事業者が医療情報を取り扱う際の安全管理に関するガイドライン」総務省
「医療情報をいたく管理する情報処理事業者向けガイドライン」経済産業省

② 個人情報　基本的なルールとして法的に以下のような厳格な取り扱いが規定されている

A) 保有の制限：利用目的を明確に、必要な範囲を超えて個人情報を保有しない
B) 利用目的の明示：個人情報を取得する必要性と利用目的の明示
C) 利用、供給の制限：利用目的以外に個人情報を利用、提供してはならない
D) 正確性の確保：利用条件内で保有している個人情報が、過去または現在の事実と合致するよう努めなければならない
E) 安全確保：個人情報の漏洩防止に必要な措置を講じなければならない
F) 従事者の義務：業務に関して知り得た個人情報を、他人に知らせたり、目的外に利用したりしてはならない

＜関連法規＞

「個人情報の保護に関する法律」（個人情報保護法）
「医療・介護関係事業者における個人情報の適切な取り扱いのためのガイダンス」個人情報保護委員会、厚生労働省
「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」文部科学省、厚生労働省

（３）電子カルテの標準化

① 電子化（電子カルテの導入）

＜関連法規＞

1994 年　「X 線写真等の光磁気ディスク等への保存について」電子的保存「可」
1999 年　「診療録等の電子媒体による保存について」（電子保存通知）
　　→　電子カルテの３原則＊電子保存及び保存場所に関する要件の明確化
2002 年　「診療録等の保存を行う場所について」
2004 年　「民間事業者等が行う書面の保存等における情報通信の技術の利用に関する法律」（e-文書法）
　　法令等で作成または保存が義務受けられている書類の電子的な取り扱い「可」

＊電子カルテの３原則　次の３つの基準が満たされる場合に、電子媒体による保存が認められる

電子カルテの3原則（基準の設定）	
①真正性	• カルテには故意または過失による虚偽入力を行なったり，書き換え，消去および混同を防止することが要求される • 同時に作成の責任の所在を明確にすることが必要である • 診療，患者説明，監査，訴訟などに際し，その目的に応じて利用できなければならない • データベース内に修正履歴の記録が必要
②見読性	• カルテの記載内容は必要に応じていつでも容易に肉眼で見読可能な状態にしておくことが要求される（時系列での参照など） • 利用者管理の手順を明確にする
③保存性	• 法令で定める保存期間にわたって，真正性，見読性を保ち復元可能な状態で保存することが要求される • データ管理の信頼性の維持（バックアップ） • アクセス権限の設定，安全性の確保を考慮

（４）DICOM 標準規格による画像および画像通信の標準化

DICOM（Digital Imaging and Communication in Medicine）

・エックス線画像、CT、MRI、超音波、内視鏡などの医用画像診断装置、医用情報システムの間でデジタル画像データを扱う国際標準規格
・一般的な画像フォーマットと違い、ヘッダ部分に付帯してファイルメタ情報が記録されている
・ファイルメタ情報には、複数のデータ要素から構成されるデータ集合が含まれている。データ要素には TAG 番号が付けられ、番号によってデータ要素が特定できる。
・DICOM 画像を表示するためには、専用の DICOM ビューワソフトが必要である。
・

（５）医療情報の統合

① 病院情報システム（HIS：Hospital Information System）

病院内の診療業務内での情報交換・情報蓄積を司るシステム

医療事務会計システム、診療予約システム、診療情報システム、検査・薬剤等の各部の門の情報管理システム、検査データの管理システムやいわゆる電子カルテのシステムなどを中心に構成されている。

② 放射線科情報システム（RIS ： Radiology Information System）

放射線科部門内における検査、治療の予約、診断結果のレポート、実績管理、材料在庫などの管理を行う。画像保存・管理をする PACS と連携している。

③ 画像保管管理システム　（PACS ：Picture Archiving and Communication System）

医療画像診断装置からの画像を電子的に保存、検索、解析する画像データベースシステム

膨大な量の医用画像をデジタル画像としてデータベース化し必要に応じてその画像を転送、表示することができる。

（６）遠隔画像診断（Teleradiology）

2010 年ガイドラインにて「ネットワークを利用した複数期間でのデジタル画像およびその関連情報の相互伝達によって行われる診断」と定義されている。

専門家による画像読影が困難な医療において画像診断の専門医がその読影診断能力を提供する

医療の質の向上、地域医療への貢献、予防医療における有用性が利点として示されている

システムや情報の管理、個人情報の保護などは要求されるレベルが日々変化している（定期的な見直しが必要）

8. 参考図書

・ 歯科放射線学第 6 版、5 版（医歯薬出版株式会社）
・ わかりやすい歯科放射線学（学研書院）
・ 医療系スタッフのための情報システム入門（秀潤社）
・ よくわかる医用画像工学（オーム社）
・ 基礎放射線画像工学（オーム社）
・ よくわかる医用画像情報学（オーム社）
・ デジタル放射線画像（オーム社）
・ 標準デジタル X 線画像計測（オーム社）
・ 厚生労働省「医療情報システムの安全管理に関するガイドライン」
・ 画像数学入門三訂版三角関数、フーリエ変換から装置まで（東洋書店）
・ エッセンス歯科放射線（学研書院）
・ 新・医用放射線科学講座診療画像機器学第 2 版（医歯薬出版株式会社）
・ ORAL RADIOLOGY Principles and Interpretation EDITION 7
・ 「Q＆A」で学ぶ歯科放射線学：SBO s 講義（学研書院）
・ 医療安全管理学第 2 版（医歯薬出版株式会社）