

経済的視点から考える PACS と WS

有限会社 夢見堂
代表取締役 石川浩太

はじめに

医療を取り巻く環境や放射線科の担うべき役割の変化と IT の進歩に伴い、PACS とワークステーション (WS) の機能や性能は、時代の要請に応えるべく変遷してきた。今回は経済的視点から今日の PACS と WS のあるべき姿を検討してみたい。

医療経済の変化

政府 IT 戦略本部は 2006 年、「IT 新改革戦略」(<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/060119honbun.pdf>) を掲げ、医療の構造改革を IT により推し進めるとした。これを受け、厚生労働省では 2007 年、「医療・健康・介護・福祉分野の情報化のグランドデザイン」(<http://www.mhlw.go.jp/houdou/2007/03/h0327-3.html>) を取りまとめ、おおむね今後 5 年間で取り組む「アクションプラン」を提示した。直近では、政府 IT 戦略本部の専門調査会は、経済危機から脱するための「デジタル新時代に向けた新たな戦略～三か年緊急プラン～」の原案をまとめ、IT を駆使して行政機関の効率を高める電子行政の推進や医療分野の IT 化を柱とした。官民で 3 兆円を集中投資し、40 万～50 万人の雇用創出をめざすとしている。

一方、2008 年の診療報酬改定では、デジタル映像化処理加算の大幅減額と、いわゆるフィルムレス加算として電子画像管理加算が新設された (60 点から 120 点)。

読影医に対する報酬の変化

2008 年の診療報酬改定では、画像診断管理加算 1 は 58 点から 70 点に加点され、画像診断管理加算 2 は施設基準がより明確化され、87 点から 180 点に大幅に加点された。

放射線科の担うべき役割の変化

人材派遣中枢としての医局の崩壊などに起因する医師不足、偏在、地位低下、過重労働、医療訴訟の増加など、医師を取り巻く環境は年々厳しくなっていると言わざるを得ない。放射線科の業務もアナログからデジタル、フィルムからモニタに移行した。モダリティの目覚ましい進歩による空間分解能の向上、種々の撮影手法の発展や客観的な画像診断に対する重要度の増大により、読影医に求められる業務の質と量は、人の充足とは別次元で、年々の向上を求められている。多くの読影医が疲弊している現状が容易に推認できよう。

PACS と WS

PACS と WS は、医師が“診療上有意味な情報を認知”するため用いる道具である。診療上有意味な情報を文書化した診断報告書を作成し、臨床医、コ・メディカルや患者との間で情報を共有しコミュニケーションを図ることができる。さらに、画像診断情報を適切に保管し、必要に応じてバックアップやコピーを院外に提供する道具でもある。近年では、地域医療圏において情報を共有し、コミュニケーションを図るために欠かせないものとなりつつある。モダリティの進歩による空間分解能の向上とフィルムレス運用の開始により、システムは蓄積するデータ量、画像表示スピード、可用性と安全性の向上が同時に求められている。

■ストレージ単価の低下

RAID用のATAハードディスク単価は2002年ごろ1000円/GBを下回り、最近では100円/GB以下になった。1000床クラスの画像発生量が年間10TB程度とした場合、2002年ベースで1000万円/年となり、これが、現在では100万円/年で賄える計算となる。さらに画像圧縮技術を活用し、可逆圧縮1/2.5を用いると40万円/年となる。したがって、CD-R、DVD-R、DLT(digital linear tape)やLTO(linear tape-open)などにニアラインストレージにて運用することは無意味となり、バックアップ専用となった。RAID主体でストレージを組むことは必須であるが、以下について留意が必要である。

- ①ハードディスクの容量増大に伴い、内部の不良箇所(バッドセクタ)の影響が無視できなくなっている。RAIDのリビルド中など冗長化が確保できない状況において、データの欠落や不整合が起りうることを考慮しなければならない。したがって、RAID6やRAID51などのより高い冗長性を持たせた状態での運用が望ましい。
- ②ハードディスクは消耗品であり、経年でエラーの発生頻度が増大する。また、RAID本体も故障することがある。RAIDは消耗品ととらえ、5年程度での償却を考えた方がよい。さらに、RAIDを多重化し、万が一に備えることが望ましい。
- ③現在の1TBを大きく超えるRAIDシステムにおいて、いったん故障したRAIDからのデータ復旧は、時間的、経済的観点から、不可能と考えるべきである。
- ④容量の増設が容易であり(システム構成が複雑にならない)、増設可能容量が高く、かつ増設に伴う速度低下が最小限であるシステムを選択すべきである。
- ⑤単価の下落は目覚ましいが、安全性、可用性やスケールビリティを求めるなら(管理者の責任として求めなければならない)、不用意に投資を削減すべきでない。

■可用性の向上

上記のストレージ単価の低下に伴い、サーバの多重化が容易になりつつある。一方をアクティブサーバ、他方をスタンバイサーバとしてフェイルオーバーを主体とした構成でシステムを組むことがあるが、平常時においてスタンバイサーバの資源が活用できないという欠点がある。これに対し、負荷分散器(ロードバランサ)を導入することで、平常時には複数のサーバに処理を分散させ、異常時に故障サーバを切り離すことで可用性を向上させることが可能となる。負荷分散構成を構築するコストは、

2000年代前半まではエンタープライズ指向の高額なものであったが、近年低価格化が進んでいる。2台のハードウェア負荷分散器を導入した場合でも数百万円の投資で足りることが多く、積極的に検討すべきである。その場合、以下の点に留意が必要である。

- ①稼働率の計算をする。例えば、稼働率99%のサーバを2台構成することで、並列システムの稼働率は99.99%に改善される。具体的に言うと、年3.7日停止する使用に耐えないサーバでも、2台の並列稼働であれば実に53分の停止ですむ計算となる。
- ②システム停止に伴う病院の経済的損失を計算し、サーバの多重化費用と負荷分散構成の導入費用と照合して、効果が明らかであれば積極的に検討すべきである。特に、フィルムレス運用に際しては、システム障害は病院の信用にもかかわる問題に直結するため、検討は急務である。
- ③負荷分散システムの導入で可用性は向上するが、システム障害が消失するわけではないことを理解し、システム停止時の運用マニュアルの策定を怠ってはならない。
- ④多重化されていないその他のシステムの影響でサービスが停止する可能性を考慮し、単一障害耐性のない部分を事前に洗い出して、できるかぎりの回避対策を講じるべきである。例えば、モダリティの送信機能の故障やネットワークがダウンした場合、PACSが多重化されていても画像配信は停止する。
- ⑤負荷分散器の処理能力がボトルネックとなり、画像配信スピードが低下する場合がある。処理量の多い画像データの配信に関しては、経路設計の工夫で速度低下を回避できることが実証されている¹⁾。

■ 画像表示スピードの向上

PACSで保存されているデータは、端末のモニタに展開されて、はじめて医師の認知対象物となる。技術的な進歩により画像表示スピードの向上は目覚ましいが、データエクспанションが発生しており、必ずしも満足のいく結果が得られていないという施設も多いことと思う。例えば、配信等の処理で医師が待たされる時間が1検査あたり15秒であるとし、1日100検査を読影医あるいは臨床医が閲覧すると考えると、1人あたり25分の時間的ロスが発生する。医師1人あたりに関連する職員は5名程度と考えると、実に医師1人あたり2時間/日(500時間/年、平均時給3000円とすると150万円/年)程度の時間的、経済的ロスが発生すると試算できる。システムの性能向上が、直ちに病院に経済的な利益をもたらすかは不明であるが、検討に値する項目だとは思われる。以下に、画像表示スピード向上に役立つ技術を紹介する。導入を検討しているPACSでの実装状況を確認することで、画像表示スピードの性能を推し量る指標として利用していただければと思う。

一般的に、RAIDのスループットは150MB/s程度、1000Baseのネットワークのスループットは125MB/s程度と均衡している。したがって、理想的な環境においては125MB/s程度の画像表示性能がひとつの上限指標になる。具体的には、CT画像換算で250枚/sである。

画像配信に圧縮技術を用いる場合、サーバサイドでいつ画像圧縮を行うかでボトルネックになる処理の場合分けをしなければならない(図1)。オンデマンドの場合、サーバでの画像圧縮および端末での画像展開が同時進行するので、一般的にサーバ側の圧縮スループットが問題になる場合が多い。あらかじめサーバに圧縮画像を保存する場合は、端末での画像展開処理のみになり、端末側での展開スループットのみ考慮すればよい。また、JPEG系の圧縮と比べ、WaveletやJPEG2000などの圧縮の方が、より処理コストが高く、スループットの低下が顕著となる。例えば、1/10圧縮のスループット5MB/s(展開換算50MB/s)の場合、ネットワーク負荷は激減し、端末が100Base、1000Base接続のいずれの場合でも、100枚/sの画像表示スピードになる(図2)。圧縮技術を用いない場合は、100Baseで25枚/s、1000Baseで250枚/sとなる。すなわち、画像圧縮の活用はネットワークがボトルネックになる場合にのみ、配信スピード向上に有効であると言える。インターネットや地域IP網を用いた遠隔画像診断で有用であるのは、このためである。画像配信に圧縮技術を用いる場合の速

度向上の手段としては、サーバでの圧縮がボトルネックになる場合はサーバの多重化による並列処理の実現、端末の展開処理がボトルネックになる場合は高性能なCPUの導入を検討すべきである。

見かけ上の画像表示スピードを向上させる技術として、画像のプロGRESS展開がある。画像データの一部が端末に到着した時点で、解像度の低い画像として画面に表示し、最初の画像表示まで待たせない。サムネールの表示では有効な手段であるが、診断に供する画像の場合、解像度の低い画像で診断してしまう恐れがあり注意が必要である。もう一つは、最初の画像が端末に到着した時点で画像を表示し、制約なく操作可能な状態とする手法である。検査に属する他の画像はバックグラウンドでダウンロードし表示に備えることで、表示待ち時間はかなり減少することを体感できる。

キャッシング技術の活用も有効である。過去においては、ニアラインストレージの遅さを補うために、関連検査データをハードディスクにプリフェッチしておくということが行われた。サーバでの画像圧縮やWebサーバの性能がボトルネックになる場合は、Webキャッシュサーバの導入を検討すべきである(図3)。ネットワーク性能や端末での画像展開処理がボトルネックになる場合は、端末での画像データのキャッシングを活用すべきである。しかし、この場合はビューワソフトウェアでの実装が必須である。いずれの場合も一度は画像表示を行い、同一画像を二度目以降に表示する場合に効果が発生する。

3D画像等の表示に関しては、端末にすべての画像をダウンロードすることは、画像表示スピードを確保する上では好ましくない場合がある。特に、ネットワーク性能がボトルネックになる場合において顕著である。ポクセルデータはサーバ上で構築し、表示する画像データのみを端末に配信してデータ転送量を抑える方法が、画像表示スピードを向上させる上では好ましい場合がある。

32ビットOSの場合はメモリ空間で4GB(Windows OSのアプリケーションメモリは2GB)の制約がある。2GBの場合、CT画像換算で約2000枚(1枚あたり512KB+画像表示用メモリ512KBとした場合)の画像表示でメモリは枯渇する。これに対し64ビットOSを用い、ビューワソフトウェアも64ビット化した場合、メモリ空間の制約はほぼ解消され、2000枚を超える画像データを常時メモリ空間に展開することが可能となり、高速化を図ることができる。

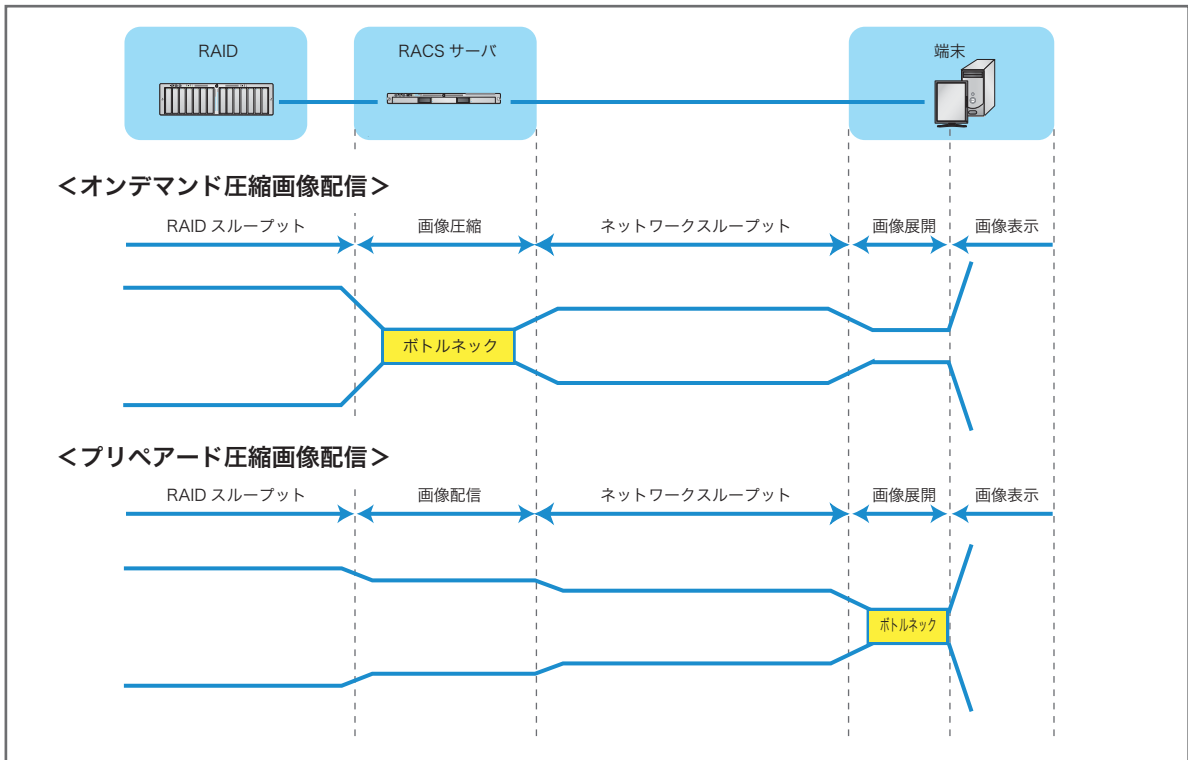


図1 オンデマンド圧縮画像配信とプリペアド圧縮画像配信

オンデマンド圧縮画像配信では、端末からの要求に応じてリアルタイムに PACS サーバで配信画像を生成する。一方、プリペアド圧縮画像配信では、あらかじめ圧縮画像を RAID に保存し、端末からの要求時には圧縮処理を行わない。個々の処理過程における帯域幅と、ボトルネックと推定される箇所を示す。

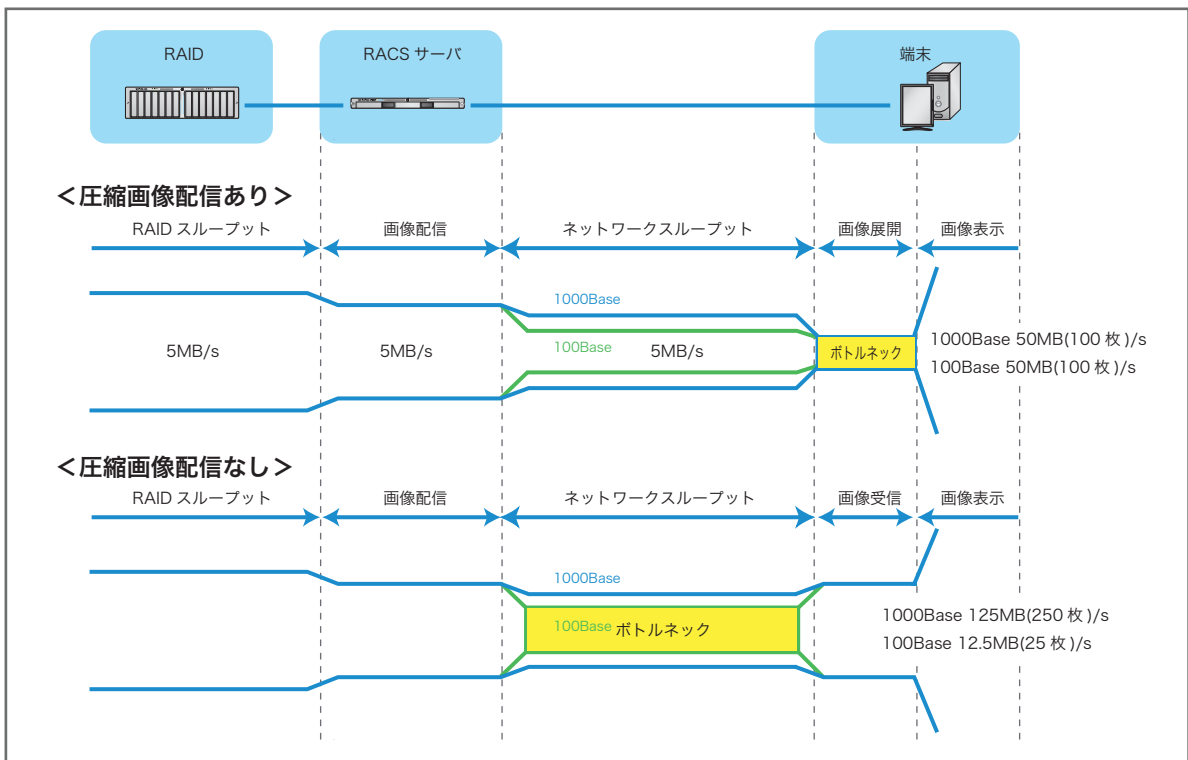


図2 圧縮画像配信の利点

圧縮画像配信を行った場合とそうでない場合において、個々の処理過程における帯域幅と、ボトルネックと推定される箇所を示す。

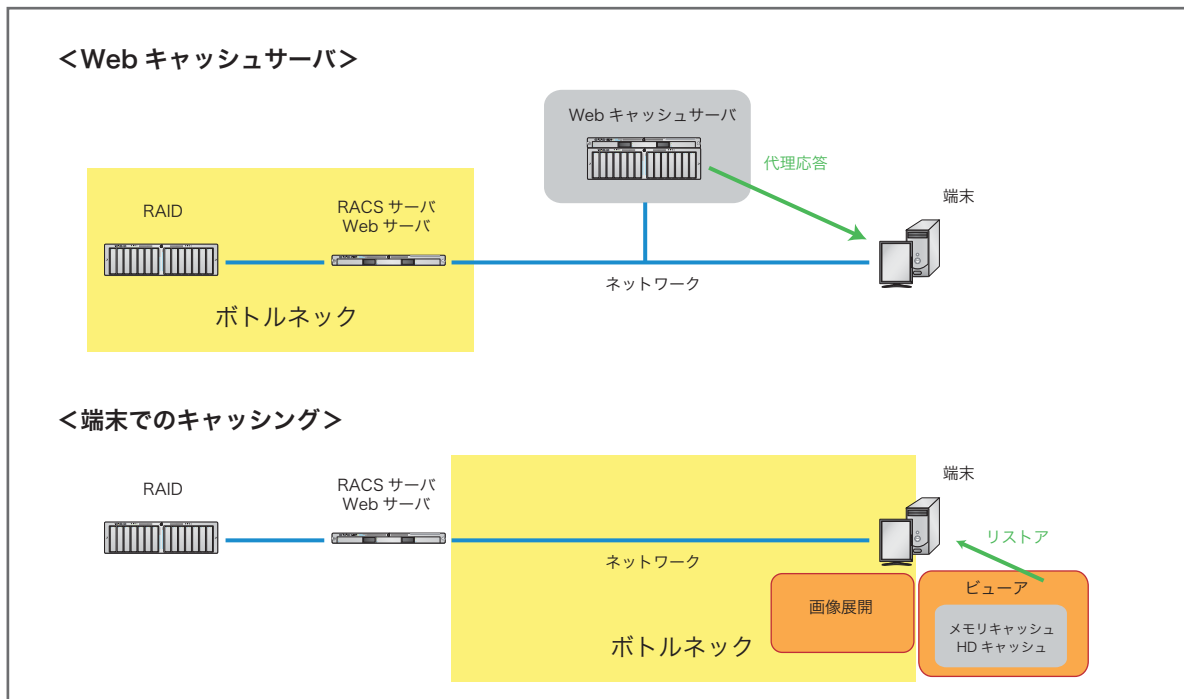


図3 キャッシング技術の活用

Web キャッシュサーバを導入した場合、代理応答がなされる経路と軽減が期待されるボトルネック処理を示す。

端末でのキャッシングを導入した場合、画像データのリストアがなされる経路と軽減が期待されるボトルネック処理を示す。

読影の精度、効率の向上と WS

データ容量の増大や地域医療連携を考える場合、PACS や WS なしに、今日の読影業務を行うことはほぼ不可能である。一方、高機能な WS を院内全域に配置することも経済的に不可能である。したがって、院内の画像配信には近年進化が目覚ましい Web 技術を用い、WS に負けない機能、性能を実現することが一般的になりつつある。具体的には、電子カルテ端末に画像閲覧機能を持たせ、必要に応じて高精細液晶を増設し、設備投資や維持費用を抑える手法が採られる。画像を閲覧する端末が WS か電子カルテ端末であるかはさほど問題にはならず、読影医の認知を補助する機能を強化することで、読影の精度、効率が向上することが期待される²⁾。

まとめ

デジタル映像化処理加算の近い将来の廃止と、フィルムレス加算の新設に伴い、ようやくという感はあるが、PACS や WS の投資に対する経済的な裏づけがなされた。また、画像診断管理加算 2 にあるように、翌診療日までに 80% を超える検査の診断報告書を作成することは、

今日の業務量を考えると PACS や WS なしではほぼ不可能である。客観的な医療を希求する流れに乗り、重要度が増す画像診断を支え、遠隔画像診断や地域医療連携を実現させるためには、PACS や WS はなくてはならない。画像保存容量の確保、可用性の向上、画像表示スピードの向上、読影の精度や効率の向上に留意しつつ、PACS や WS を構築することは、病院の生産性を向上させるための必要条件となった。したがって、良質な PACS や WS に積極的に投資することは、病院経営において重要な意義を持つと考える。

参考文献

- 1) 祖父江亮嗣：フィルムレス画像配信環境における高可用性確保への取り組み (SLB を用いた負荷分散) CyberRAD, 2008
- 2) 石川浩太：読影医が画像認知をするということ 映像情報 Medical, 40・8, 801～805, 2008.