

血管撮影装置消費電力量の実測による省エネルギー運用の検討

Study on Energy-saving Operation through Measurement of Power Consumption in Angiography Systems

岩城 龍平*, 佐々木 祐輔, 佐々木 忠司

岩手医科大学附属病院 中央放射線部

Key words: angiography system, power consumption, standby power, operating power consumption

【Abstract】

This study aimed to measure the power consumption of different angiography systems and to investigate effective power utilization. The angiography systems studied were IVR-CT and Single-plane systems. Measurements were conducted for 47 hours for each system, measuring the standby power during power-off, standby power during power-on, and power consumption during system start up. The power consumption varies significantly depending on the system. However, the standby power during power-on was consistently high regardless of the system type, compared to the standby power during power-off and the power consumption during system startup. To effectively utilize power, it is necessary to appropriately shut down the system when not in use.

【要旨】

本研究では血管撮影装置の消費電力量を実測し、省エネルギー運用の検討を行った。IVR-CT装置とSingle plane装置を対象とし、それぞれ47時間の測定を行い、装置停止後待機時消費電力量、装置起動後待機時消費電力量、装置起動時消費電力量を求め、比較した。システムの違いにより消費電力量に大きな差異が見られたが、装置起動後待機時消費電力量は装置停止後待機時消費電力量や装置起動時消費電力量と比較して、全てのシステムで高い結果であった。省エネルギー運用を検討する際には、適宜装置を停止させる運用が有用であることが示唆された。

緒 言

近年の電気料金高騰に伴う病院経営の効率化や、電気の使用が制限される災害時・停電時の自家発電環境下において、持続可能な血管撮影装置の運用を検討する上でも、装置消費電力量の適正化が求められる¹⁾。東日本大震災に伴う計画停電の病院施設への影響に関する報告書では、停電時に画像診断装置を稼働させるニーズが極めて高いことが示されており²⁾、施設ごとの設備状況に合わせた消費電力量の実測と把握が重要であると考える。病院全体や部門ごとの消費電力量の実測³⁾、災害時における低電力CT撮影プロトコルの検討が先行研究として報告されているが⁴⁾、血管撮影装置に限定した消費電力量の実測や、低電力運用に関する検討は行われていない。一方、画質が低下することによる手技時間の延長は、救命を目的とするIVR領域においては問題となるため⁵⁾、低電力運用の実施に際

しては画質低下への注意が必要である。本研究では血管撮影装置の消費電力量を実測し、省エネルギー運用に関して検討した結果を報告する。

1. 方 法

1-1 使用機器

IVR-CT装置はAlphenix INFX-8000C, Aquilion Prime SP (キヤノンメディカルシステムズ、栃木)、Single plane装置はArtis zee Ceiling (Siemens Healthcare, Erlangen, Germany)、電力計はクランプオン パワーハイテスタ3169 (日置電機、長野)を使用した。電力計は測定確度保証条件下で測定した⁶⁾。

1-2 消費電力量の実測

Fig.1に示すように、装置へ直接電力供給を行っている400V電源に電力計を接続し、各装置について平日の3日間(1日目14時から3日目13時まで)の測定を実施した。電力計の測定条件は次の通り設定した。3相3線3電力方式、VT比:1、クランプセンサーのレンジ:OFF、CT比:1、電圧レンジ:600V、電流レンジ:500A、インターバル時間:5秒。測定結果から10分ごとの消費電力量を算出し、時系列データとしてま

IWAKI Ryuhei*, SASAKI Yusuke,
SASAKI Tadashi

Department of Radiology, Iwate Medical University Hospital

* E-mail: iwakiryuhei@gmail.com

Received March 6, 2025; accepted September 2, 2025



Fig.1 The 400V power supply for the angiography system.

とめた。またIVR-CT装置に関しては、Angiography systemとCT systemの消費電力量の差を検討するために、休日2日間を利用して、それぞれを起動させた状態で24時間測定を実施した。

1-3 消費電力量の算出

各消費電力量は以下の通りに定義し、算出した。なお、装置停止後待機時消費電力量と装置起動後待機時消費電力量は1時間ごとの消費電力量を算出したのに対し、装置起動時消費電力量については、1回の装置起動当たりの消費電力量を算出するために各装置の起動時間に応じて算出した。そのため(A)と(B)に関しては10分ごとの平均電力量を1時間換算するため、係数6($=60\text{分} \div 10\text{分}$)を乗じている。

(A) 装置停止後待機時消費電力量 (Wh)

$$= \{1/n(X_1 + X_2 + \dots + X_n)\} \times 6$$

X: 装置停止後から装置起動前までの10分ごとの消費電力量 (Wh)

n: 対象データ数

(B) 装置起動後待機時消費電力量 (Wh)

$$= \{1/n(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n)\} \times 6 - (A)$$

Y: 手技実施時間を除いた装置起動後から装置停止前までの10分ごとの消費電力量 (Wh)

n: 対象データ数

(C) 装置起動時消費電力量 (Wh)

$$= \{(Z \times 1/a) - (A)\} \times a$$

Z: 装置起動開始から装置起動完了までの消費電力量 (Wh)

a: 1回の装置起動完了までに要した実時間 (時間)

1-4 装置電力供給に関する調査

IVR-CT装置とSingle plane装置の装置電力供給に関して、各メーカーに対して調査を実施した。調査内容は以下の3点である。

- (1) 400V電源から変圧後の電力分配先
- (2) 装置停止後も常時電力供給が行われているユニット
- (3) X線管装置陽極の回転とフィラメント加熱の停止条件

2. 結 果

本研究における測定結果を以下に示す。なお、本研究では装置ごとの消費電力量の変動幅に大きな差があるため、各図における縦軸スケールは装置ごとに調整して表示している。これは、各装置の消費電力量の変動傾向を視認しやすくするためであり、装置間の定量的な比較は本文に示す実測値に基づいて評価している。

2-1 IVR-CT装置の実測結果

IVR-CT装置の実測結果をFig.2から4に示す。1日目は手技の実施はなかった。2日目には8:40～9:00にCTガイド下ドレナージ、9:20～10:40と11:30～12:20にTACEを2件実施し、3日目には8:40～8:50にCTガイド下マーキング、9:00～10:00にCV挿入、10:10～10:40にシャントPTA、11:00～11:30と12:20～12:50にCTガイド下生検を2件実施した。装置停止後待機時消費電力量は1211Wh(1日目:20:00～23:50)、2日目:0:00～7:00、22:10～23:50、3日目:0:00～7:00の19時間30分を算出対象とした)、装置起動後待機時消費電力量は5789Wh(1日目:14:00～19:40、2日目:12:30～21:20、3日目:7:40～8:30までの15時間20分を算出対象とした)、装置起動時消費電力量は1回当たり528Wh(2、3日目の7:00～

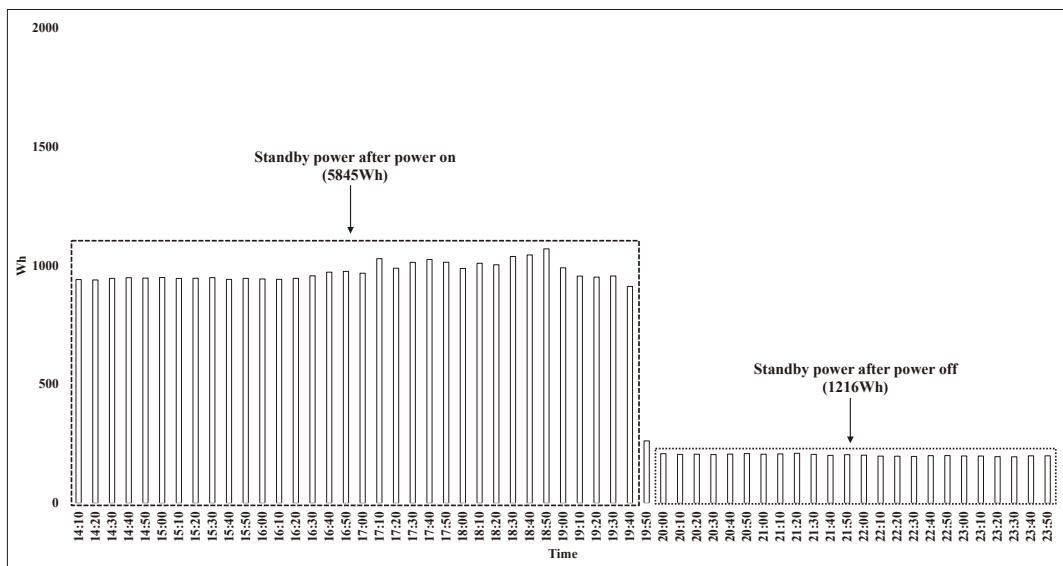


Fig.2 Actual measurement of power consumption of IVR-CT over a 47-hour period (Day1).

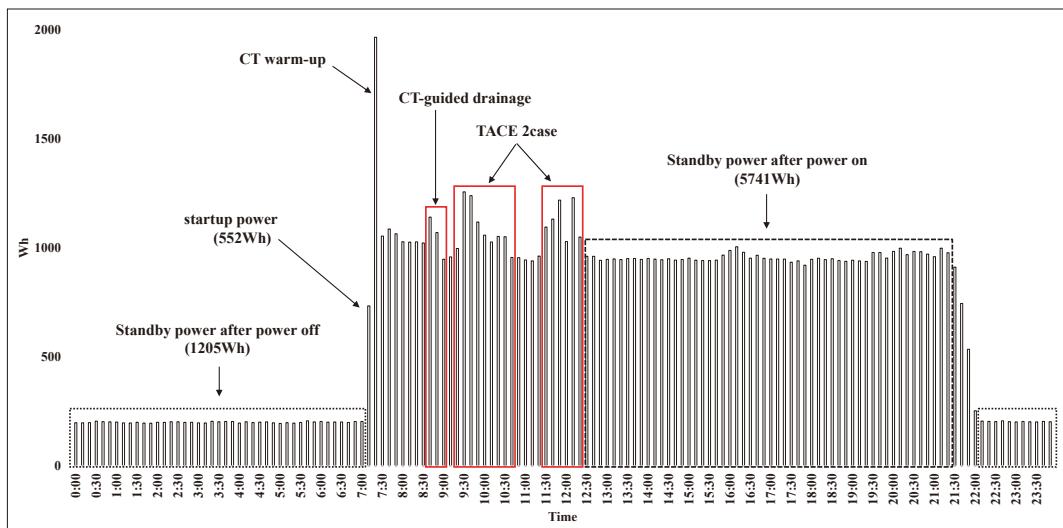


Fig.3 Actual measurement of power consumption of IVR-CT over a 47-hour period (Day2).

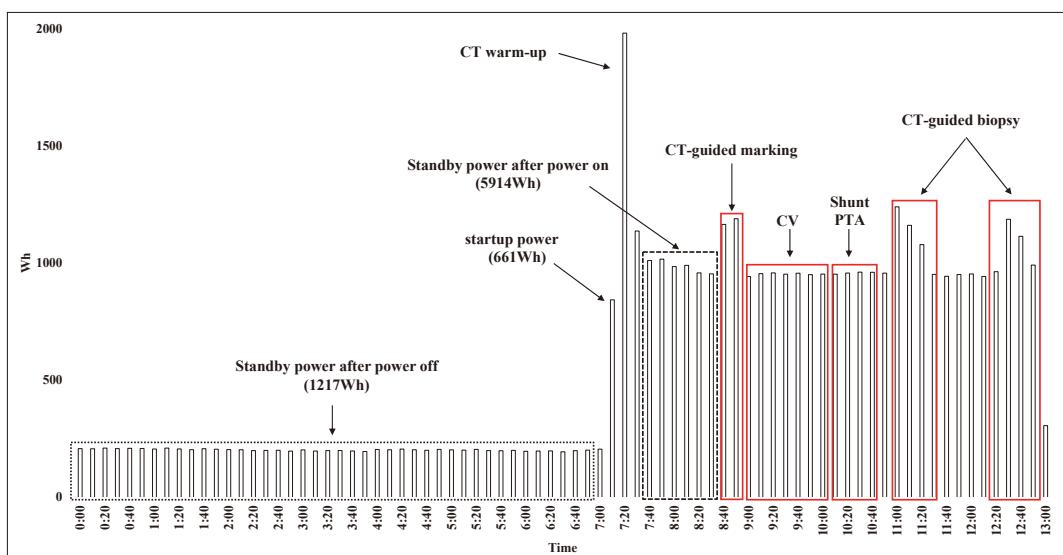


Fig.4 Actual measurement of power consumption of IVR-CT over a 47-hour period (Day3).

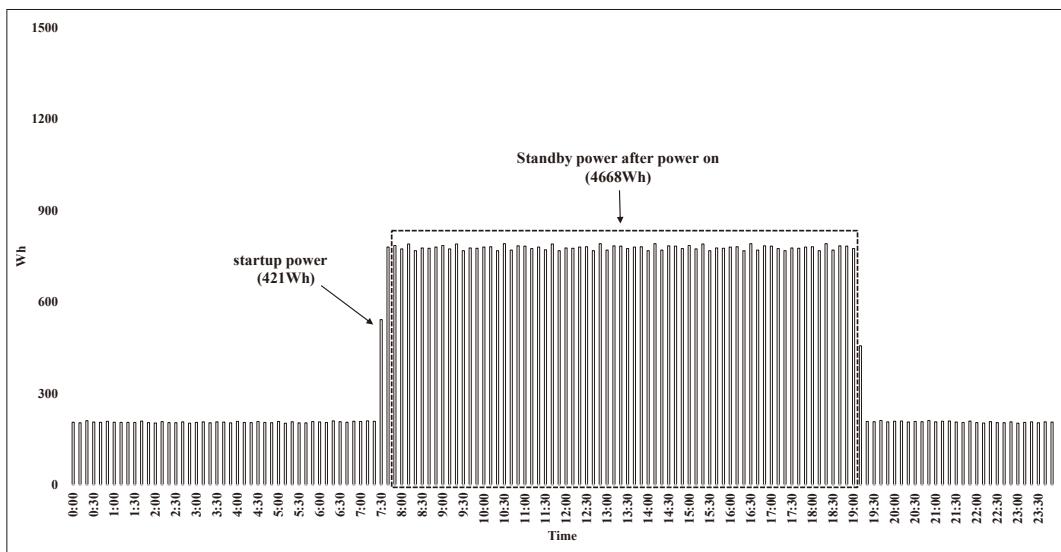


Fig.5 Actual measurement of power consumption with only the angiography system in operation (IVR-CT).

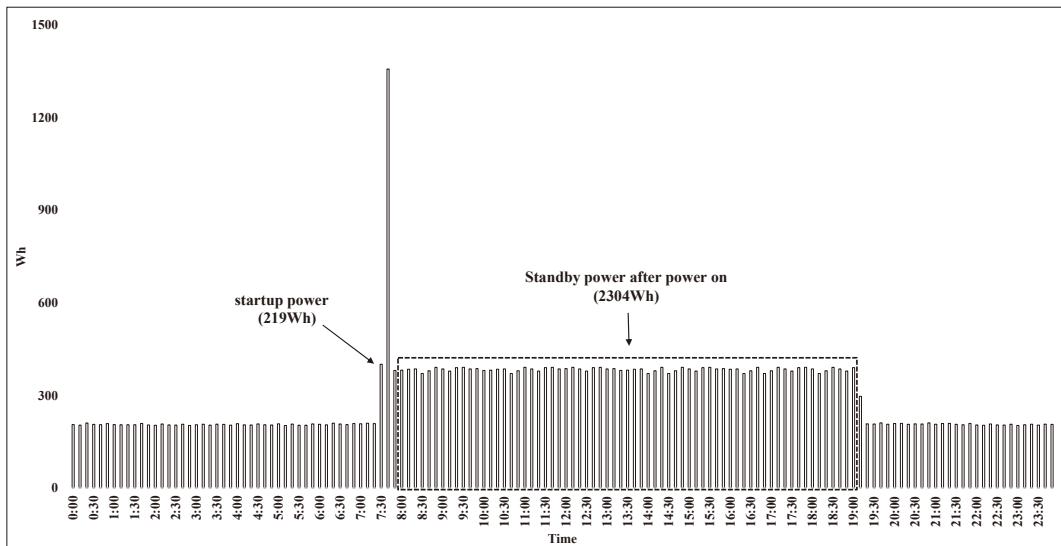


Fig.6 Actual measurement of power consumption with only the CT system in operation (IVR-CT).

7:09の9分間を算出対象とした)であった。

Angiography systemのみ起動させた状態での実測結果をFig.5に示す。装置起動後待機時消費電力量は4668Wh(7:50から19:00までの11時間10分を算出対象とした), 装置起動時消費電力量は1回当たり337Wh(7:31~7:37までの6分間を算出対象とした)であった。CT systemのみ起動させた状態での実測結果をFig.6に示す。装置起動後待機時消費電力量は2304Wh(8:00から19:00までの11時間を算出対象とした), 装置起動時消費電力量は1回当たり195Wh(7:30~7:39までの9分間を算出対象とした)であった。

2-2 Single plane装置の実測結果

Single plane装置の実測結果をFig.7から9に示す。1日目は手技の実施はなかった。2日目には14:20~15:10にTAE, 15:30~16:20に機械的血栓回収療法を実施し, 3日目には9:00~12:00に末梢血管治療を実施した。装置停止後待機時消費電力量は291Wh(1日目; 17:00~23:50, 2日目; 0:00~7:00, 20:20~23:50, 3日目; 0:00~6:50までの24時間10分を算出対象とした), 装置起動後待機時消費電力量は2604Wh(1日目; 14:00~16:40, 2日目; 7:30~14:10, 16:50~19:50, 3日目; 7:20~8:50, 12:20~12:50までの14時間20分を算出対象とした), 装置起動時消費電力量は274Wh(2, 3日目の7:12~7:19までの7分間を算出対象とした)であった。

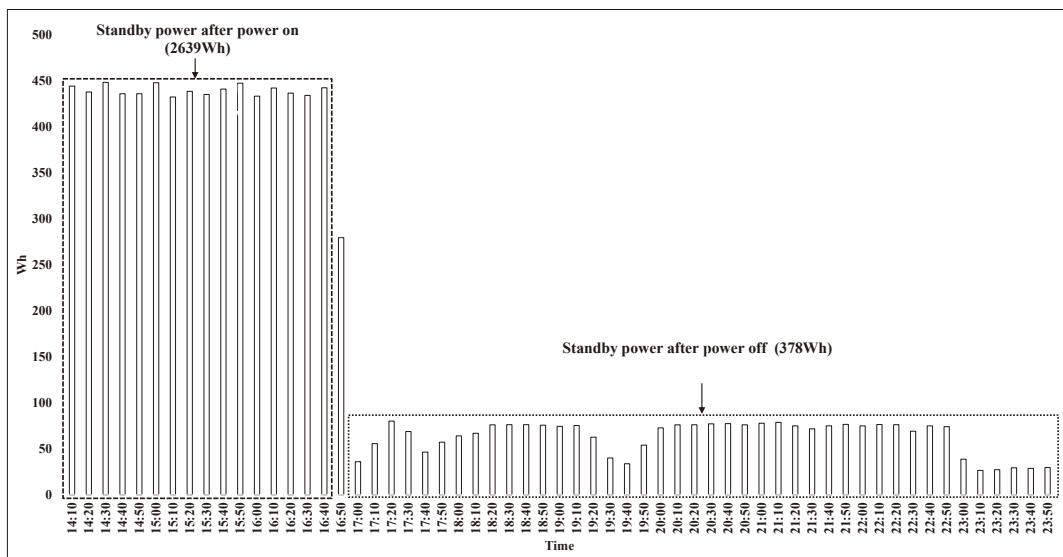


Fig.7 Actual measurement of power consumption of Single plane over a 47-hour period (Day1).

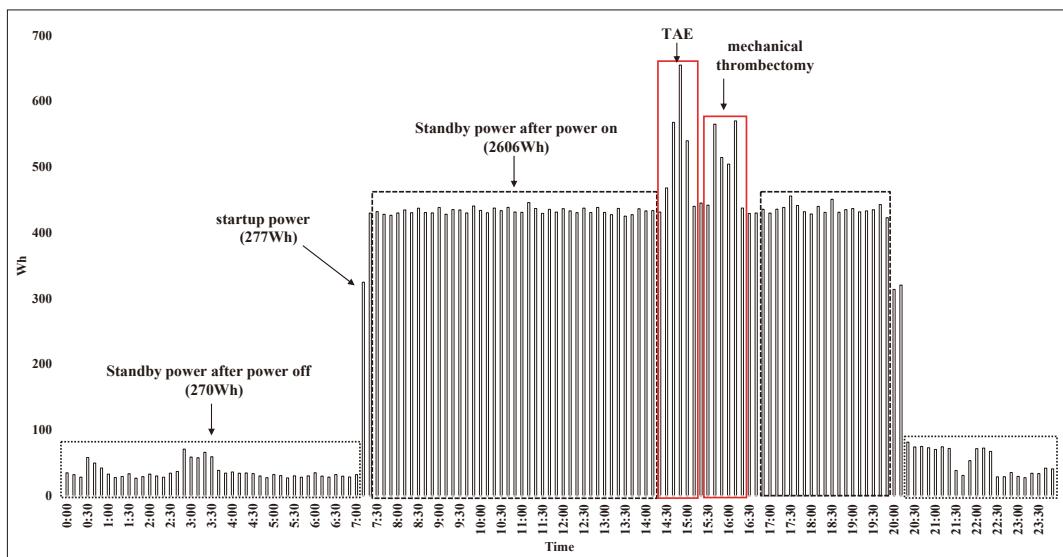


Fig.8 Actual measurement of power consumption of Single plane over a 47-hour period (Day2).

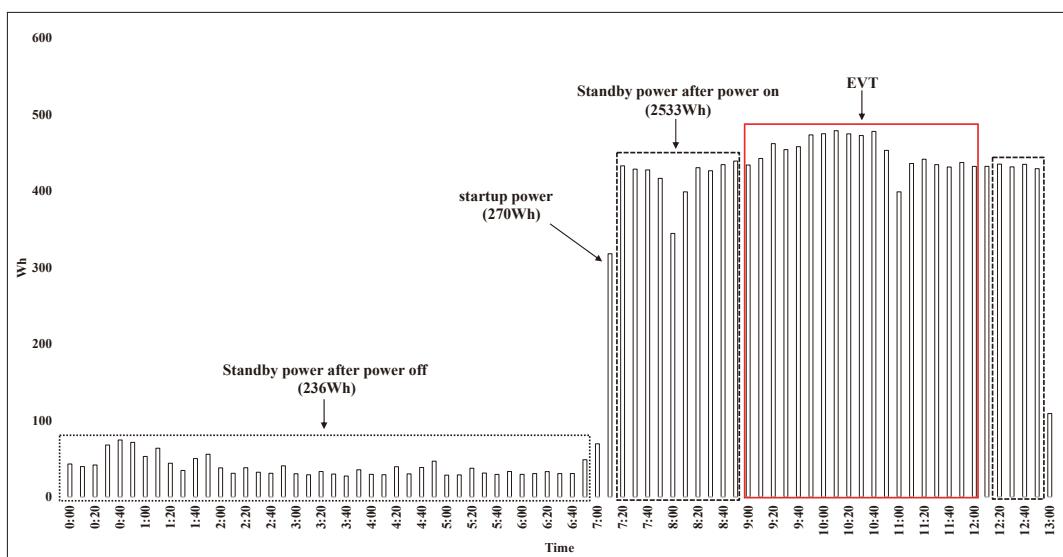


Fig.9 Actual measurement of power consumption of Single plane over a 47-hour period (Day3).

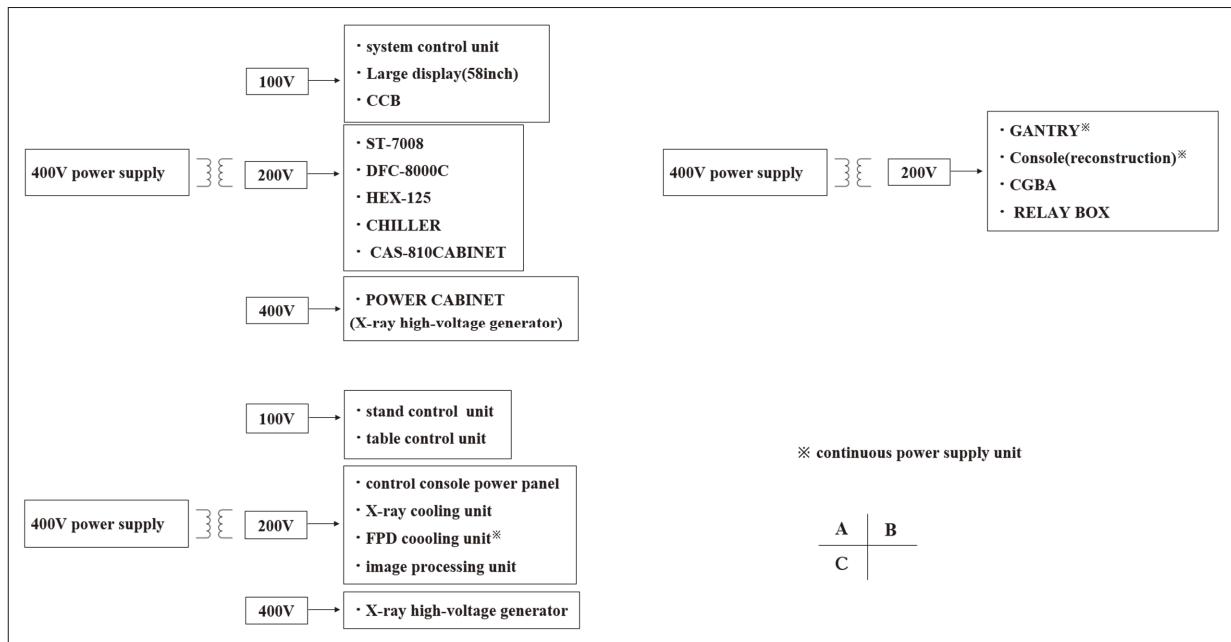


Fig.10 Distribution destinations after voltage transformation and units with continuous power supply.

- Voltage transformation and continuous power supply unit of IVR-CT (Angio system)
- Voltage transformation and continuous power supply unit of IVR-CT (CT system)
- Voltage transformation and continuous power supply unit of Single plane

2-3 装置電力供給に関する調査

2-3-1 400V電源から変圧後の分配先

Fig.10に、IVR-CT装置およびSingle plane装置の変圧後の各ユニットへの分配を示す（ユニット名は各メーカーの名称に準拠）。Angiography systemとCT systemでは変圧後の電圧やユニットへの分配に違いがあるが、Angiography systemに着目すると、メーカーによる大きな差異は確認されなかった。以下に詳細を示す。IVR-CT装置のAngio systemは400V電源を変圧器で100V, 200V, 400Vに変圧している。100Vから供給されるユニットはコントロールユニット、58インチ大画面モニター、操作卓モニター、200Vから供給されるユニットはスターターユニット、画像処理装置、X線管冷却ユニット、FPD冷却ユニット、支持台、400Vから供給されるユニットはX線高圧発生器であった（Fig.10A）。CT systemは400Vを変圧器で200Vに変圧後、ガントリー（X線高圧発生装置、X線管冷却ユニット、検出器温度コントローラーはガントリーより電力供給される）、再構成ユニット、移動ベース、Angio連動中継（寝台、支持器、CT透視中継を含む）に供給していた（Fig.10B）。一方、Single plane装置は400V電源を変圧器で100V, 200V, 400Vに変圧している。100Vから供給されるユニットはスタンド制御機構、テーブル制御機構、200Vから供給されるユニットは操作卓電源盤、X線冷却機

構、FPD冷却機構、画像処理装置、400Vから供給されるユニットはX線高圧発生装置であった（Fig.10C）。

2-3-2 装置電源停止後の電力供給仕様

IVR-CT装置のAngiography systemでは、装置停止後に全てのユニットへの電力供給が停止する仕様となっていた（Fig.10A）。一方CT systemでは、装置停止後も200Vから供給されるガントリー内的一部のユニット（X線高圧発生装置およびX線管冷却ユニットへの電力供給は停止し、検出器温度コントローラーのみ常時電力が供給される）と再構成ユニットには常時電力が供給されていた（Fig.10B）。Single plane装置では200Vから供給されるFPD冷却ユニットに限り、装置停止後も常時電力供給が維持される仕様であった（Fig.10C）。

2-3-3 X線管装置陽極の回転とフィラメント加熱の動作特性

IVR-CT装置のAngiography systemでは、X線管装置陽極は基本的に装置停止まで常時回転していた。ただし、次の2つの条件を満たす場合に限り、回転が停止する仕様であった。①検査終了後15分以上経過した状態で保持装置がPark位置にある場合、②システム起動後2時間以上経過し、X線管装置の蓄熱量が15%以下である場合。一方、CT systemのX線管装

置陽極は惰性で回転する仕様であり、Angiography systemと異なる特性を有していた。フィラメント加熱に関しても、両システムで動作特性に差異があった。Angiography systemは基本的に装置停止まで常時加熱されているが、検査終了後15分以上経過した状態で保持装置がPark位置にある場合に限り、加熱が停止される仕様であった。一方、CT systemでは撮影時以外は加熱が停止される仕様であった。

Single plane装置ではX線管装置陽極は装置起動後常時回転されており、フィラメント加熱に関しても常時加熱される仕様であった。

3. 考察

本研究の結果から、システムの違いにより消費電力量は大きく異なることが確認された。一方で装置起動後待機時消費電力量は、装置停止後待機時消費電力量や装置起動時消費電力量と比較して、システムの違いに関わらず大きいことが示された。

3-1 IVR-CT装置の消費電力量

Angiography systemとCT systemでは、X線高圧発生装置への供給電圧に差異があった。またAngiography systemのX線管装置陽極は基本的に装置停止まで常時回転しているのに対し、CT systemのX線管装置陽極は惰性で回転するのみであることが、Angiography systemとCT systemの装置起動後待機時消費電力量に差を生じさせた要因と考える。一方、装置停止後はAngiography systemには電力供給はなく、CT systemの一部への電力供給に限られるため、装置起動後待機時消費電力量と比べて装置停止後待機時消費電力量は低い結果になったと考える。

3-2 Single plane装置の消費電力量

Single plane装置のX線管装置陽極は装置停止まで常時回転し、フィラメント加熱に関しても装置起動後は停止しない仕様である。装置停止後は200Vから供給されるFPD冷却ユニットへの電力供給に限られるため、装置起動後待機時消費電力量と比較して装置停止後待機時消費電力量は低い結果になったと考える。またIVR-CT装置と比較して装置起動後待機時消費電力量および装置停止後待機時消費電力量が低くなった要因としては、CT systemの有無が関係していると考える。さらにAngio装置単独での比較においても消費電力量の差が認められたことから、メーカーや

モデルごとの設計仕様（冷却ユニットの仕様、X線管の仕様など）も要因として考えられる。この点についても今後の詳細な検討が必要であると考える。

3-3 省エネルギー運用の検討

日常業務および災害時の省エネルギー運用に関して検討する。日常業務においては、使用時以外に適宜装置を停止することで省エネルギー運用が期待できると考える。装置起動後待機時消費電力量と装置停止後待機時消費電力量の差分はIVR-CT装置で4578Wh、Single plane装置で2313Whとなり、急患などにより装置の再立ち上げを行ったと仮定しても装置起動時消費電力量は十分に低いため、節電効果を得ることができると考える。一方で、装置の起動と停止に注意が必要な場合もある。当院で使用しているIVR-CT装置では、装置の起動と停止に関して取扱説明書に以下のような注意点が記載してある⁷⁾（一部抜粋）。

- (1) 当日1番目の検査を開始するときや、いったん電源を停止し数時間後に検査を再開するときは、検査開始30分以上前にシステム電源を起動すること。電源起動後十分に時間をおくないで検査を開始すると画像にアーチファクトが発生する場合がある。アーチファクトが消えるまで時間をおいて、検査を開始すること。
- (2) 緊急時以外は電源を停止した後、約20秒間は電源を起動しないこと。20秒以内に電源を起動する、システム故障の原因となる。
- (3) X線管装置陽極の蓄熱量が30%以下になってから、システム電源を停止する。
- (4) 次の場合に液体金属軸受X線管装置が故障する恐れや寿命が短くなる恐れがある。①システムのシャットダウン操作とシステム電源起動操作を短時間に繰り返す。②緊急用の電源停止ボタンを多用する。③システム電源を起動してからシステムの起動が完了するまでの間に緊急用の電源停止ボタンを押す。

一方、Single plane装置の注意事項は装置停止後1分間空けてから起動するのみであった。このように、装置やメーカーなどによって注意点が異なるため、施設ごとに装置取扱説明書やメーカーの意見を参考に運用を検討する必要がある。

また災害時の省エネルギー運用に関しては、稼働装置の制限が考えられる。日常業務では診療科や手技によって装置を使い分けることが多いが、災害時に向けて平時から医師、メディカルスタッフと共に、救命に

支障を来さない範囲での装置の共用を検討する必要がある。また装置ごとに消費電力量の実測を行い、コストパフォーマンスに優れる装置の選定を行うことも重要である。本研究では、当院の血管撮影装置2台のみを対象に47時間の測定を実施したため、他メーカーと同一メーカーの異なる装置における消費電力量の差異については検証できていない。一方で、CTやMRIなど他のモダリティにおいては、装置間でスキャン時の消費電力量に25%以上の差があるとする報告⁸⁾もあり、血管撮影装置においても同様の機種間差が存在する可能性がある。従って本研究の限界を踏まえ、他メーカーと同一メーカー内の異なる機種、さらにBiplane装置を含む多様なシステム間での比較検討が今後の重要な課題である。また施設間差やより長期間のモニタリングも含めて検討を進めていく必要があると考える。

4. 結語

システムの異なる血管撮影装置の消費電力量を実測したことにより、消費電力量の傾向を把握することができた。システムの違いにより消費電力量は大きく異なるが、装置起動後待機時消費電力量は、装置停止後待機時消費電力量および装置起動時消費電力量と比較して、システムに関わらず常に大きいことが確認された。省エネルギー運用を検討する際には、適宜装置の電源を停止させる運用が有効であることが示唆された。

利益相反

筆頭著者および共著者全員に開示すべき利益相反はない。

謝辞

本研究にご協力を賜りました岩手医科大学総務部施設課の藤平直樹氏に心から御礼申し上げます。なお、本論文の一部は第1回日本放射線医療技術学術大会（2024年10月開催）において発表した。

図の説明

- Fig.1 血管撮影装置の400V電源
- Fig.2 IVR-CT装置における47時間測定の消費電力量の実測値（1日目）
- Fig.3 IVR-CT装置における47時間測定の消費電力量の実測値（2日目）
- Fig.4 IVR-CT装置における47時間測定の消費電力量の実測値（3日目）
- Fig.5 血管撮影装置のみ稼働させた際の消費電力量の実測値（IVR-CT）
- Fig.6 CT装置のみ稼働させた際の消費電力量の実測値（IVR-CT）
- Fig.7 Single plane装置における47時間測定の消費電力量の実測値（1日目）
- Fig.8 Single plane装置における47時間測定の消費電力量の実測値（2日目）
- Fig.9 Single plane装置における47時間測定の消費電力量の実測値（3日目）
- Fig.10 変圧後の各ユニットへの分電先
 - (A) IVR-CT（血管撮影装置）における変圧後の各ユニットへの分配先
 - (B) IVR-CT（CT装置）における変圧後の各ユニットへの分電先
 - (C) Single plane装置における変圧後の各ユニットへの分電先

参考文献

- 1) 畠仲卓司：病院における使用電力の部門別・用途別実態把握と削減方策に関する研究—電力面の省エネ対策と使用電力削減効果推計及び電力使用制限令の検証—. 日医総研ワーキングペーパー, 9-10, 2013.
- 2) 渡辺 敏, 他：計画停電（発電容量不足）に伴う医療機器等の使用状況に関する緊急調査. 財団法人医療機器センター附属医療機器産業研究所 リサーチペーパーNo4, 15-17, 2011.
- 3) 久米 彌, 他：中規模病院における消費電力の実測と考察. 1-2, 阿知須共立病院, 2015.
- 4) 松本健志, 他：災害時における低電力CT撮影プロトコールの検討. 日放技誌, 66号, 9, 2019.
- 5) 日本循環器学会：循環器診療における放射線被ばくに関するガイドライン（2021年改訂版）.
https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2021/03/JCS2021_Kozuma.pdf
(Accessed 2024.01.14).
- 6) 日置電機株式会社：クイックスタートマニュアル3169 3169-01 クランプオンパワーハイテスタ（改訂7版）. 2014.
- 7) キヤノンメディカルシステムズ株式会社：取扱説明書2B308-241JAE 据置型デジタル式循環器用X線透視診断装置 X線循環器診断システム Alphenix INFX-8000C 2019 : 8章 2-6.
- 8) Canadian Coalition for Green Health Care : Medical Imaging Equipment Energy Use. 1-23, Canadian Coalition for Green Health Care, 2017.