

電子計算機のエネルギー消費効率及びその測定方法について(案)

現行の電子計算機のエネルギー消費効率は、消費電力(単位:ワット)を、性能指標(単位:ギガ演算、複合理論性能¹:CTP)で除した数値とし、次の式により算出することとしている。

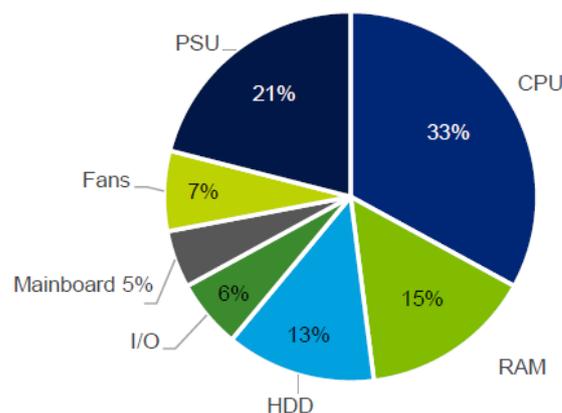
$$E=(W_1+W_2) \div 2 \div Q$$

この式において、E、W₁、W₂及びQは、次の数値を表すものとする。

- E: エネルギー消費効率(単位 ワット/ギガ演算)
- W₁: アイドル状態の消費電力(単位 ワット)
- W₂: 低電力モード時の消費電力(単位 ワット)
- Q: 複合理論性能[CTP](単位 ギガ演算)

サーバ型電子計算機は、ファイル共有、データベース、ネットワーク管理等のクライアント型電子計算機に対するサービスといった一般的な利用法に加えて、データの圧縮、暗号化や行列計算等の多様な用途で利用されている。このため、サーバにおける各構成要素のエネルギー消費割合は、CPUが33%に過ぎず、CPU以外のメモリやストレージ等の構成要素のエネルギー消費が多くを占めている。

Single CPU Server Energy Distribution at Idle Load



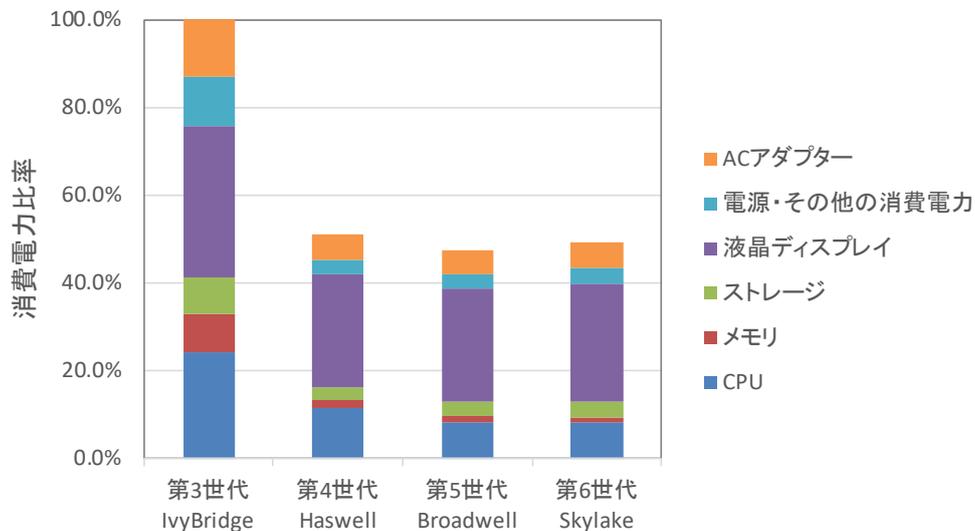
シングル CPU サーバにおける各構成要素のエネルギー消費割合(アイドルモード)

出所) Preparatory study for implementing measures of the Ecode sign Directive 2009/125/EC

DG ENTR Lot 9 – Enterprise servers and data equipment Task 3: User July 2015 – Final report

¹ 複合理論性能(CTP=Composite Theoretical Performance)とは、米国商務省が輸出管理のための中央処理装置(CPU)の性能尺度として定めた指標。2007年以降、輸出管理では複合理論性能は用いられておらず、CPUメーカーによる複合理論性の提供は行わなくなる方向にある。

また、クライアント型電子計算機は、ディスプレイ等の CPU 以外の構成要素の消費電力も大きい割合を占める。



クライアント型電子計算機における CPU 世代別の各要素別消費電力推移

※縦軸は第 3 世代のショートアイドル時のシステム全体の消費電力を 100%とする。

出所) JEITA 提供資料

これまでは CPU 以外のエネルギー消費性能を評価する方法が無かったが、国際的にも活用され、国際エネルギースタープログラムにも採用されている試験方法として、サーバ型電子計算機では、現在 ISO 規格 CD (Committee Draft) として検討されている SERT ver2.0 (Server Efficiency Rating Tool ver2.0)²、クライアント型電子計算機では、ISO/IEC 規格をもとに技術的内容を変更して作成した JIS C 62623:2014「パーソナルコンピュータの消費電力測定方法」がある。これらの測定方法の次期基準における採用について検討する。

1. 具体的なエネルギー消費効率及びその測定方法

(1) サーバ型電子計算機

① エネルギー消費効率

サーバ型電子計算機のエネルギー消費効率は、SERT ver2.0 で定められた方法により測定した CPU、ストレージ及びメモリの消費電力あたりの性能を、SERT ver2.0 で定められた手順で幾何平均化して算出するものとする。

② エネルギー消費効率の測定方法

SERT ver2.0 で定められたサーバ型電子計算機の構成の機器について、一定の測定環境の

² 非営利団体である SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation) が定めているサーバ性能分析ツール。SERT ver2.0 では実使用条件を模擬した様々な負荷条件下におけるエネルギー消費効率を SERT (Server Efficiency Rating Tool) 値と定義し測定方法を定めている。ISO では、ISO/IEC CD 21836、ISO/IEC CD 21836、Information Technology - Data Centers - Server Energy Effectiveness Metric において、SERT を用いて測定することが検討されている。

もと、CPU、メモリ、ストレージ(構成要素)に対してテストプログラムによる負荷(ワークレット)を与え、その結果得られた各構成要素の性能をその消費電力をワットで表した数値で除した値を、各構成要素で重み付けをし幾何平均した値とする。

なお、具体的な測定法は別紙1参照。

(2)クライアント型電子計算機

①エネルギー消費効率

クライアント型電子計算機のエネルギー消費効率は、JIS C 62623:2014 で定められた方法により測定した年間消費電力量をキロワット時毎年で表した数値とする。

②エネルギー消費効率の測定方法

JIS で定められたクライアント型電子計算機の構成の機器について、一定の測定環境のもと、電子計算機の各モード(オフモード、スリープモード、ショートアイドルモード、ロングアイドルモード)による消費電力を測定し、そのモード時の消費電力に機器毎に規定された負荷プロファイル特性による年間比率(負荷サイクル特性)を乗じる。

なお、具体的な測定方法は別紙2参照。

サーバ型電子計算機のエネルギー消費効率の測定方法について

1. サーバ型電子計算機の構成

サーバ型電子計算機の構成は SERT ver.2 に定められているとおりとする。

- ・ ハードディスクドライブ(HDD)は 2 台とし、最も回転数が高く、容量が大きいものを搭載する。HDD が搭載されない場合は、半導体ディスクドライブ(SSD)を搭載する。
- ・ CPU は、コア数、コアあたりのスレッド数及び周波数の積が最小のものとする。メモリ容量(ギガバイト)は、サーバシステムの総スレッド数以上とする(例:16スレッドならば16ギガバイト以上)。ただし、総スレッド数は、総スレッド数=コアあたりスレッド数×総コア数=コアあたりスレッド数×(CPU あたりコア数×総 CPU 数)とする。なお、複数のメモリチャネルがあるサーバの場合は、各チャネルに同一 DIMM(複数の DRAM チップをプリント基板上に搭載したメモリモジュール)を同一数実装すること。

ただし、マルチコア仕様の CPU が搭載されているサーバでは、複数のワークレットに対してそれぞれ使用する CPU コアを限定できるが、次期基準においては全コアを有効にすることとする。

2. 測定環境

測定環境は、SERTver.2.0 に定められているとおりとする。

- ・ 周囲温度 20℃と装置仕様環境温度の上限の間とする。
- ・ 電源電圧 定格入力電圧の±5%以内とする。
- ・ 電源周波数 定格電源周波数の±1%以内とする。

3. 作業負荷

CPU、メモリ、ストレージの各構成要素に負荷を与える作業負荷は、SERT ver.2.0 に定められたとおりとする。

SERT では、この各構成要素に対する作業負荷(テストプログラムの一種)を「ワークロード」と呼んでいる。また、ワークロードには、複数の種類の異なる小さい作業負荷が含まれており、この小さい作業負荷を「ワークレット」と呼んでいる。ワークレットについては、更に複数の負荷水準を設定して実行することとしている。

CPU に対する7種類のワークレットをまとめて CPU ワークロード、メモリに対する2種類のワークレットをまとめてメモリワークロード、ストレージに対する2種類のワークレットをまとめてストレージワークロードという。具体的には、次の表のとおり。

各ワークレットの試験内容

構成要素 (ワークロード)	ワークレット	試験内容	負荷率(%)	性能の定義
CPU	Compress	データを圧縮し、さらに解凍する。	25, 50, 75, 100	1 秒あたりの実行回数 ※CPU が行うデータ加工処理を、実際の利用シーンから想定したパターン化しそれらの処理をどれだけ速く実行できるかを、単位時間あたりの実行回数で計測する。
	Crypto AES	データを暗号化および解読する。		
	LU	高密度行列の LU 因数分解を計算する。		
	SHA256	SHA(Secure Hashing Algorithm)256 という暗号学的ハッシング関数を実施する。		
	SOR	逐次加速緩和法と呼ばれる、例えば、2次元ラプラス方程式を解くときのような、有限差分法での典型的なアクセスパターンを実行する。		
	SORT	乱数化された 64 ビットの整数を並び替える。		
	SSJ	オンラインランザクションプロセッシングを模擬した以下の処理を行う。 ・新規注文の受付 ・顧客の支払いの記録 ・受付済み注文の状態の確認 ・配達注文の処理 ・配達 ・最近注文された品目で在庫が少ないものの発見 ・顧客に対する最近の行動の報告書作成	12.5, 25, 37.5, 50, 62.5, 75, 87.5, 100	
メモリ	Flood 3	単純なコピー動作、一定倍率を掛けたコピー動作、和を求めてコピーする動作、一定倍率を掛けた項との和を求めてコピーする動作、の 4 通りの処理を行う	50, 100	帯域幅 ※単位時間あたりに読み書き可能なデータ量を計測している。(単位は B(バイト)/秒))
	Capacity 3	XMLドキュメントの検証を実行する。	4GB(基本)、物理的搭載可能な量の半分	1 秒あたりの実行回数にメモリ容量の 1/2 を乗じたもの

構成要素 (ワークロード)	ワークレット	試験内容	負荷率(%)	性能の定義
				※Web 画面などで XML(Extensible Markup Language)という文章の見た目や構造を記述する言語が、メモリ上の一時的な作業領域(「キャッシュ」領域という)で、正しい文法で記述されているか検証する処理速度を測定する。
ストレージ	Random	ランダムな読み書きを実行する。	50, 100	1 秒あたりの IO 動作回数 ※書き込みや読み込みの際に単位時間に何回の読み書きを行えるかを計測する。
	Sequential	シーケンシャルな読み書きを実行		

4. エネルギー消費効率の幾何平均の手順

(1) ワークレットのエネルギー消費効率

各ワークレットを所定の負荷率で動作させ、得られた性能を消費電力で除して得られた数値を各負荷率におけるエネルギー消費効率とする。得られた各負荷率におけるエネルギー消費効率を幾何平均化し、各ワークレットのエネルギー消費効率とする。

各負荷率におけるエネルギー消費効率=性能(単位:無次元数)/消費電力(単位:W)

$$\text{ワークレットの効率} = \exp\left(\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \ln(\text{各負荷率における効率})\right) \times 1000$$

n: ワークレットにおける各負荷率の数

(2) ワークロードのエネルギー消費効率

(1)の CPU のワークレットのエネルギー消費効率を幾何平均化し CPU ワークロードのエネルギー消費効率とし、メモリのワークレットのエネルギー消費効率を幾何平均化しメモリワークロードのエネルギー消費効率とし、ストレージのワークレットのエネルギー消費効率を幾何平均化しストレージワークロードのエネルギー消費効率とする。

$$\text{ワークロードの効率} = \exp\left(\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \ln(\text{ワークレットの効率})\right)$$

n: ワークロードにおけるワークレットの数

(3) サーバのエネルギー消費効率

サーバのエネルギー消費効率は、(2)の CPU ワークロードのエネルギー消費効率に 65%、ストレージワークロードのエネルギー消費効率に 30%、及びメモリワークロードのエネルギー消費効率に 5%のウェイトを乗じて幾何平均して得られた数値 (SERT 値) とする。

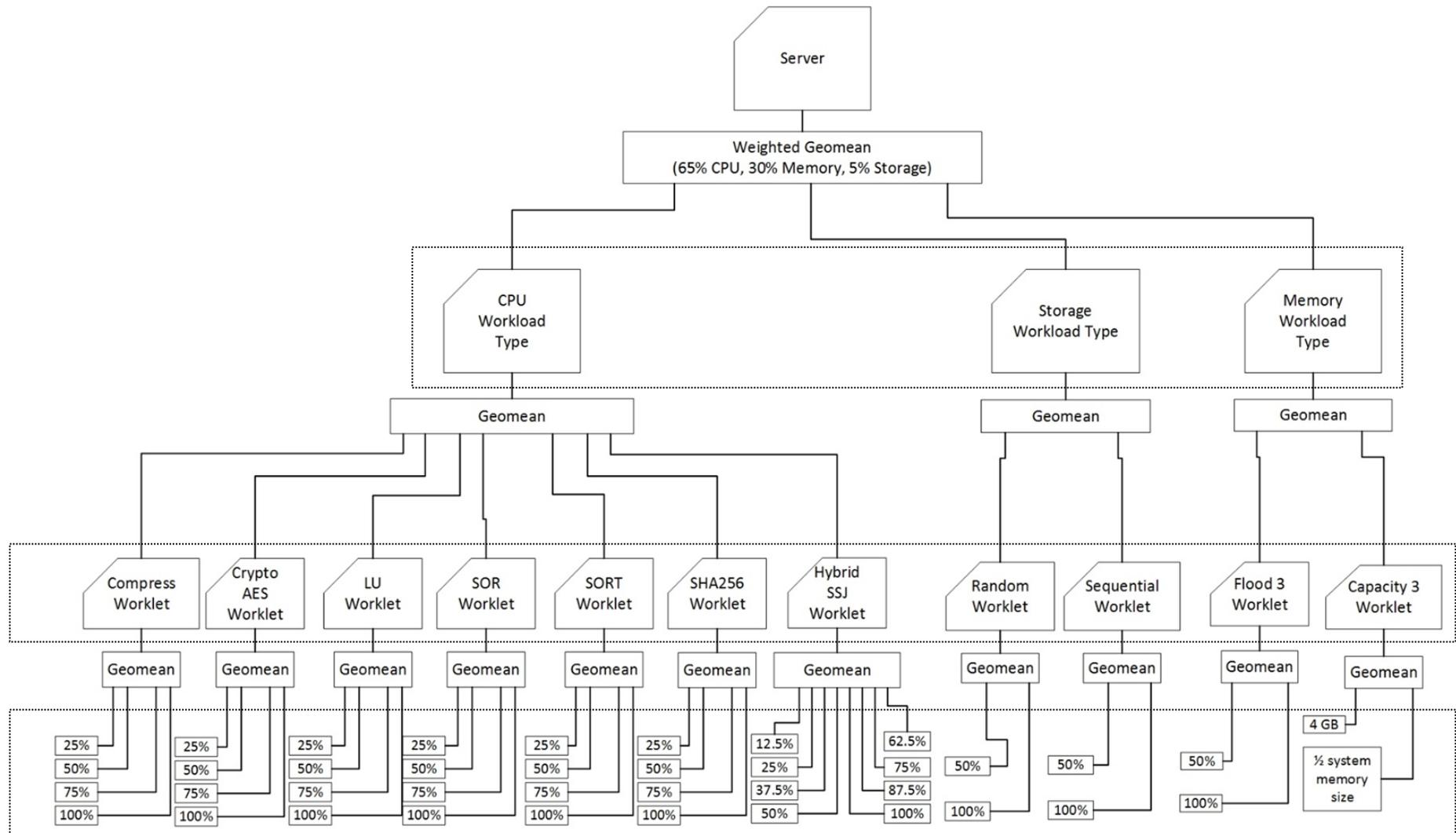
Eff_{CPU}: CPU ワークロードのエネルギー消費効率

Eff_{Memory}: メモリワークロードのエネルギー消費効率

Eff_{storage}: ストレージワークロードのエネルギー消費効率

SERT Efficiency Score

$$= \exp\left(0.65 * \ln(\text{Eff}_{CPU}) + 0.3 * \ln(\text{Eff}_{Memory}) + 0.05 * \ln(\text{Eff}_{Storage})\right)$$



各作業負荷(ワークレット、ワークロード)と負荷率のイメージ

出所: Server Energy Efficiency Workshop(2017,the green grid)

クライアント型電子計算機のエネルギー消費効率の測定方法について

1. クライアント型電子計算機の構成

JIS では、試験対象機器は初期設定によって出荷される全てのハードウェア附属品及びソフトウェアを含め、JIS の手順において特に指定がない限り、製品とともに提供される指示によって構成することと規定されている。

しかしながら、市販のパーソナルコンピュータは、組み合わせる部品の種類、メモリ容量、付属装置構成等が多種多様であり、その全てについて測定し、目標基準値と比較することは困難である。

よって、次期基準における試験対象のクライアント型電子計算機の機器構成を、下記のように設定する。

- ・ 電子計算機の基本機能を損なうことなく電子計算機から着脱することができる入出力用制御装置、通信制御装置、磁気ディスク装置等を除外する。
- ・ 出荷時に搭載している最大のメモリ及び CPU 構成で測定する。
- ・ CPU の数を拡張することが可能であるものについては、最小構成のプロセッサ数で測定する。

2. 測定環境

測定環境は、JIS C 62623:2014 において下記のとおり定められている。

- ・ 周囲温度 23°Cの±5°C以内とする。
- ・ 電源電圧 100V の±5Va.c.以内とする。
- ・ 電源周波数 50Hz 又は 60Hz の±1%以内とする。

クライアント型電子計算機のエネルギー消費効率は、次式により算出した数値(年間消費電力量(kWh/年))とする。

$$TEC_{\text{estimated}} = (8760/1000) \times [P_{\text{off}} \times T_{\text{off}} + P_{\text{sleep}} \times T_{\text{sleep}} + P_{\text{idle}} \times T_{\text{idle}} + P_{\text{sidle}} \times (T_{\text{sidle}} + T_{\text{work}})]$$

$$100\% = T_{\text{off}} + T_{\text{sleep}} + T_{\text{idle}} + T_{\text{sidle}} + T_{\text{work}}$$

T_{off} : 製品がオフモードに費やす時間の年間比率

T_{sleep} : 製品がスリープモードに費やす時間の年間比率

T_{idle} : 製品がオン状態でありロングアイドルモード(画面表示なし)である時間の年間比率

T_{sidle} : 製品がオン状態でありショートアイドルモード(画面表示あり)である時間の年間比率

T_{work} : 製品がオン状態でありアクティブモード(画面表示あり)である時間の年間比率

P_{off} : オフモードにおける平均消費電力測定値

P_{sleep} : スリープモードにおける平均消費電力測定値

P_{idle} : ロングアイドルモードにおける平均消費電力測定値

P_{sidle} : ショートアイドルモードにおける平均消費電力測定値

3. 各モードの年間比率

当該計算式に用いる各コンピュータの各モードの年間比率は、JIS C 62623:2014 附属書 B に規定された負荷サイクル特性(各モードの年間使用時間比率)の比率を使用し、下記の算出式のとおり算定する。

JIS においてはこの負荷サイクル特性を使用することが推奨とされ、ISO/IEC 及び国際エネルギースタープログラム コンピュータ基準 7.0 においても当該比率が規定されている。

- ・ デスクトップコンピュータ $TEC_{estimated}=8.76 \times (P_{off} \times 45\% + P_{sleep} \times 5\% + P_{idle} \times 15\% + P_{sidle} \times 35\%)$
- ・ ノートブックコンピュータ $TEC_{estimated}=8.76 \times (P_{off} \times 25\% + P_{sleep} \times 35\% + P_{idle} \times 10\% + P_{sidle} \times 30\%)$

エネルギー消費効率の算定に使用する負荷サイクル特性

	デスクトップコンピュータ	ノートブックコンピュータ
T _{off}	45%	25%
T _{sleep}	5%	35%
T _{idle}	15%	10%
T _{sidle}	35%	30%
T _{work}	0%	0%

4. モードの概要

JIS においてはオフモード、スリープモード、ロングアイドルモード、ショートアイドルモードの 4 つのモードの消費電力を測定することが規定されている。

ただし、スリープモードを有さず代替として低電力モードを搭載する製品も存在する。よって次期基準ではスリープモードが存在しない製品については、初期設定により有効にされる最短待ち時間または使用者起動のモードを代替のスリープモードとして消費電力を測定することとする。

(1) オフモード

オフモードとは、被試験機器を交流電源に接続し、製造業者の指示に従い使用するとき、使用者が解除することができず不定時間保たれる可能性のある最低消費電力モードとし、シャットダウン、完全な電源オフ又は電源投入に必要な電流だけ通電する状態をいう。

(2) スリープモード

スリープモードとは、被試験機器が一定の非アクティブ時間後に自動的に、又は手動選択によって移行することが可能な最低消費電力モードとし、メモリへの通電及び再起動に必要な電流だけ通電する状態をいう。

(3) ショートアイドルモード

ショートアイドルモードとは、次の条件を満たす状態をいう。

- ① 被試験機器はアイドル³状態にある。
- ② 画面はウォームアップのために 30 分間以上はオン状態にあって、JIS で規定する輝度に設定されている。

³ アイドルモードは、オペレーティングシステム及び他のソフトウェアの読み込みが完了し、製品はスリープモードではなく、また、そのシステムが初期設定によって開始する基本アプリケーションに動作が限定されている状態をいう。

③ロングアイドル電力管理機能は動作していない。

(4)ロングアイドルモード

ロングアイドルモードとは、次の要件を満たしている状態をいう。

- ①被試験機器はアイドル状態にある。
- ②主要ディスプレイの画面は無表示であるが、被試験機器は作業状態を維持している状態。
- ③電力管理機能は、出荷時に設定している場合において動作しているが、被試験機器はスリープモードに移行することを抑制している。