

迅速な応答時間の経済的価値

本論文は 1982 年 11 月に発表され、IBM のトーマス・ワトソン研究センターのコンピューティング・システム本部システム・パフォーマンス及び技術移転部のマネージャであるウォルター・ドハティと、カリフォルニア州サンノゼにある IBM のゼネラル・プロダクツ部門本社のアドバイザー・エンジニアであるアルヴィンド・サドハニによって作成された。

コンピュータとそのユーザが、どちらも相手を待たせることがないようにペースで対話すると、生産性が急上昇し、コンピュータ上で行われる作業コストが下がり、従業員は自分の仕事からより多くの満足を得て、その品質が向上する傾向がある。これほどバランスが取れているオンライン・コンピュータ・システムは殆どない。このようなバランスが経済的にも技術的にも実現可能であることを認識している経営者も殆どいない。

実際、一時期は、人は次のタスクのことを考えているのだから、最大 2 秒までであれば比較的遅い応答でも許容される、と考えられていた。現在、迅速な応答時間に関する研究は、この初期の理論が事実によって裏づけられていないことを示している。生産性は応答時間の短縮に正比例して増加する。本概要で、この調査の一部と、今日のビジネスの主要な課題である生産性の向上とコスト削減への影響について説明する。

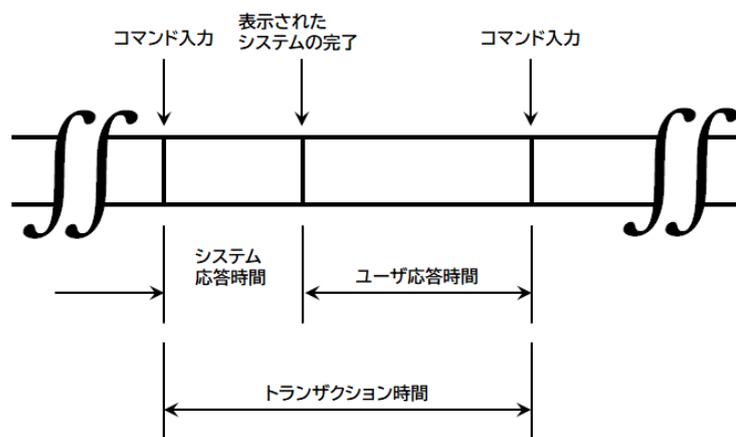


図 1: オンライン・トランザクションの要素

背景

トランザクションは、端末からのユーザ・コマンドとシステムからの応答で構成される。これは、オンライン・システムのユーザにとって基本的な作業単位である。これは、次の 2 つの時系列に分けることができる(図 1)。

ユーザ応答時間。これは、ユーザが 1 つのコマンドに対する完全な応答を受信してから次

のコマンドを入力するまでの時間である。しばしば「思考時間」と呼ばれる。

システム応答時間。これは、ユーザがコマンドを入力した瞬間から、完全な応答が端末に表示されるまでの時間である。システム応答時間は、更に次のように分類できる。

- ・ コンピュータの応答時間、コンピュータがユーザのコマンドを処理し、サービスを提供するのに、実際に費やす時間
- ・ 通信時間、コマンドがコンピュータに送信される転送時間と、応答が返されるまでの時間

オンライン・システムが初めてビジネスの世界に普及し始めたとき、当時 IBM のポキプシー研究所に所属していたロバート・B・ミラーといった心理学者らは、人がコンピュータからの応答を待つのは 2 秒が最長だと主張した。この間隔は、オンライン・システムの設計者と管理者が取り組むべき課題となった。こういった初期のオンライン・システムでは、この課題は容易ではなかったが、ユーザはコンピュータの応答を待っている間、トランザクションの流れにおける次のステップを考えている、と思うことで、人々は自分自身を慰めていた。暗黙のうちに、ユーザはシステムが応答するのにどれだけの時間を掛けたかに影響されず、できるだけ迅速に考えている、という信念があった。

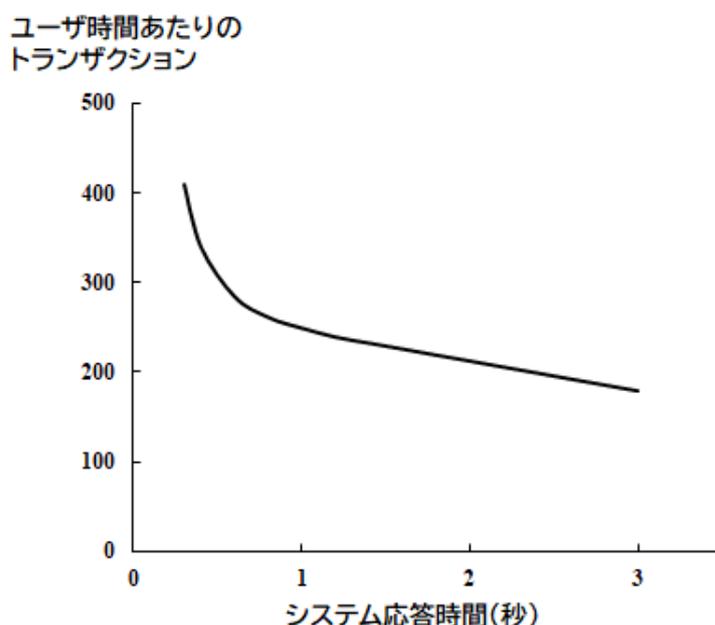


図 2:システム応答時間と、ユーザが 1 時間に完了できるトランザクション数との関係

今日のオンライン・システムは、IBM の最も強力な System/360 マシンで利用可能な最大メモリよりもはるかに大きなメモリを使用して、毎秒数 100 万の命令を簡単に実行でき、現在では数 100 人のユーザにそれぞれ 2 秒未満で応答できる。IBM のトーマス・J・ワトソン研究センターのウォルター・J・ドハティは、システム機能のこのような急速な改善の

重要性を最初に理解した人物の1人だった。

彼と、IBMの研究部門コンピューティング・システム所長リチャード・P・ケリスキーは、1979年に彼らの観察結果について次のように書いた。「…システム応答の低下が毎秒発生すると、次の[コマンド]に対するユーザの時間に同じだけの遅延が追加される。この現象は、個人の注意力の持続時間に関連しているようだ。人が各システム応答の後に考えるという従来のモデルは不正確であるように思われる。それどころか、人々は、短期的なメンタル記憶バッファに格納された一連のアクションを念頭に置いているようだ。SRT[システム応答時間]の増加は思考プロセスを混乱させるようであり、その結果、継続する一連のアクションを考え直さなければならないのかもしれない」

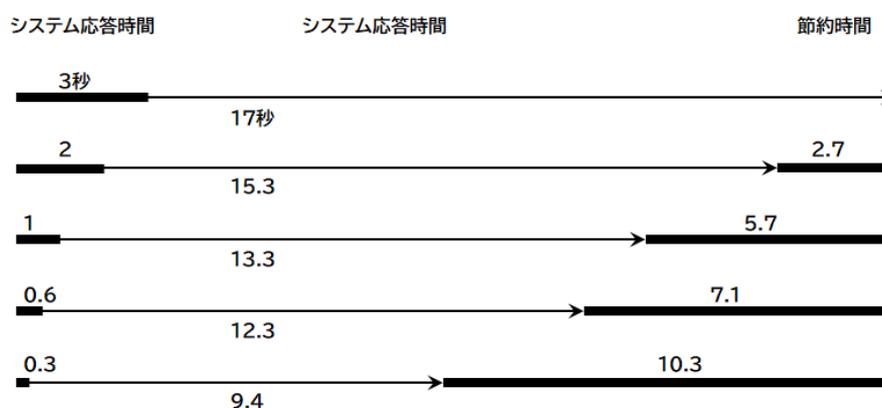


図 3:システム応答時間の改善されることで節約されるユーザ時間

IBMのサンノゼ研究所のアルヴィンド・J・サドハニは、ドハティの研究に触発された先駆的な論文で、プログラマが1時間に完了するトランザクションの数は、システムの応答時間が短くなると顕著に増加し、システムの応答時間が1秒を下まわると劇的に増加すると示唆している。例えば(図2)、システム応答が3秒の場合、サドハニは、プログラマが1時間あたり約180のトランザクションを実行することを見出した。しかし、システムの応答時間を0.3秒に短縮すると、プログラマが1時間に実行できるトランザクションの数は371に跳ね上がり、106%増加する。言い換えれば、システム応答が2.7秒短縮されると、ユーザの時間は10.3秒節約される(図3)。この、一見取るに足らない時間の節約が、生産性の大幅な向上の出発点となる。

メリット

オンライン・コンピューティングの応答時間を改善し、最終的に1秒未満にすることで、組織にもたらされる潜在的なメリットには、大幅なコスト削減、個人の生産性の向上、プロジェクト計画の短縮、作業品質の向上などがある。これらのメリットは、コンピューティングの状況に固有のものである。これらのメリットが実証された環境の多様性によって

示されるのと同じく、行われている作業の種類にも依存しない。これらのメリットをより詳しく見てみよう。

大幅なコスト削減

あちこちで人の時間を数秒節約することは、殆ど問題とならないように思えるかもしれないが、これらの秒数は急速に蓄積され、あっという間に積み上がり、巨額のドルを、もしより迅速なシステム応答を提供する必要があるなら、より大きなプロセッサをインストールするコストを正当化するには手に余るくらい巨額のドルとなる。国立衛生研究所(NIH)は、優れた例を示している。

1979年に NIH がインストールしたシステムは、300人の同時ユーザにワード・プロセッシング、プログラミング、コンピューティング、リモート・ジョブ入力機能を提供するように設計されており、トランザクションの80%が0.5秒以内に処理されていた。本概要を通してタスクと呼んでいるターミナル・ワーク・セッションは、月平均95,000回だった。設計レベルでは、そのシステムはユーザに満足のいく機能を示していたが、需要の増加により、許容できるレベルのサービスを提供し続ける能力が脅かされてきた(図4)。同時ユーザ数は400人近くにまで増え、18ヶ月後には500人になると予測された。ユーザ数が390人となると、コンピュータの応答時間は平均4秒へと劣化し、平均的なタスクの完了時間は32分から48分へと50%増加した(図5)。この問題を解決するために、NIH コンピュータ・センターの主任であるジョセフ・D・ノートンは、プロセッサをアップグレードすることを提案した。彼は、システムの劣化により、NIHのユーザは毎月22,500時間も余分に端末で過ごしているにも拘わらず、同じ数のタスクをこなしていることを見て取った。この期間のシステム・コスト及びユーザ・コストは、月間900,000ドルと見積もられており(図6)、これは、500人の同時ユーザに対して1秒未満の応答時間を提供できる新しいプロセッサの増分コストの15倍だった。国立衛生研究所にとって、プロセッサのアップグレード・コストは、ユーザ時間の節約と低いタスク・コストの回復により正当化される以上のものだった。

個人の生産性の向上

個人の生産性の向上は、おそらく迅速な応答時間から得られる最も重要なメリットである。サドハニの知見が発表された後、彼とドハティの研究を確認し、改善されたことでサブ秒となった応答が個人の生産性にどのような影響を与えるかを決定するために、いくつかのIBMプロジェクトが立ち上がった。そのような研究の1つが、システム製品部門(SPD)に関与していた。他のオンライン・アプリケーションの中でも、SPD ラボは、今日のコンピュータのすべてのコンポーネントであるボード、カード、チップの物理設計でエンジニアを支援する高機能グラフィックスを提供している。エンジニアは、グラフィック画像の操作に必要な高いトランザクション・レートのために特別に設計されたディスプレイ端末を

使用する。

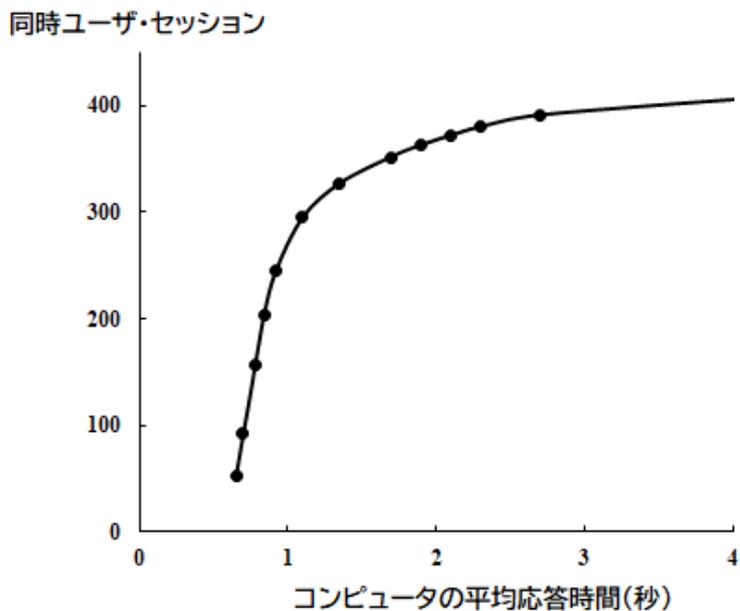


図 4:国立衛生研究所のコンピュータ・ユーティリティにおける、システム使用量の増加に伴う応答時間の劣化

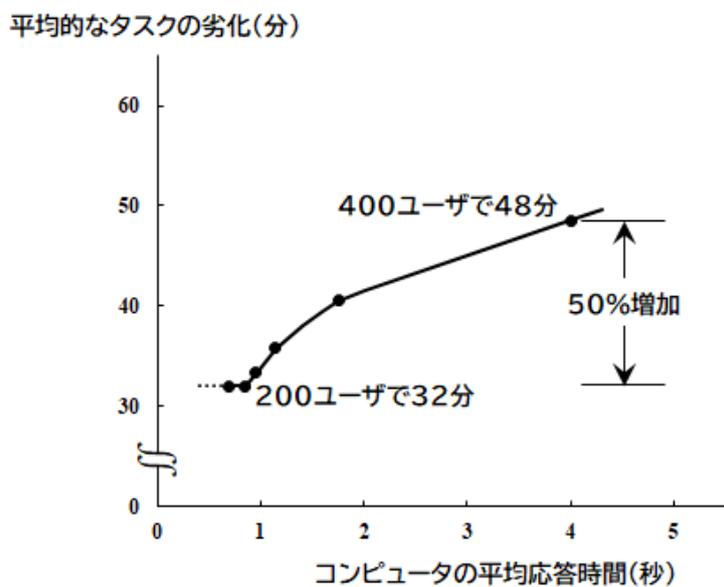


図 5:国立衛生研究所のコンピュータ・ユーティリティにおける、応答時間の劣化に伴うタスクの劣化の増加

SPD の研究では、グラフィック・ディスプレイ端末で 15 人のエンジニアが様々な物理設

計タスクを実行する際、75 回のワーク・セッションが測定された。彼らのトランザクション・レートのデータは、サドハニの曲線を裏づけた(図 7)。実際、示されたのは、それ以上のものだった。すべてのユーザは、1 秒未満の応答時間から恩恵を受けた。更に、1 秒未満の応答で作業する平均的で経験豊富なエンジニアは、応答が遅い熟練者と同じくらい生産性が高かった。初心者のパフォーマンスは経験豊富なプロと同じくらいよくなり、熟練者の生産性は劇的に向上した。

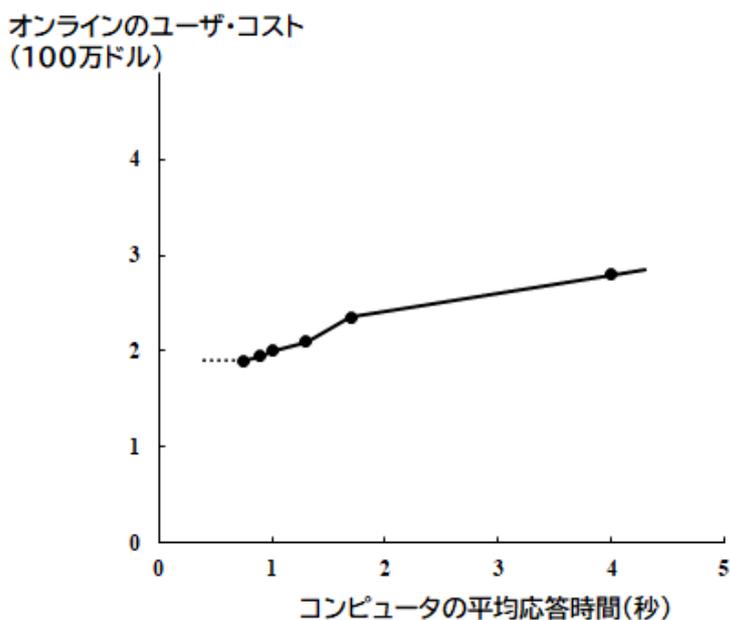


図 6:国立衛生研究所のコンピュータ・ユーティリティにおける、
応答時間の劣化に伴う月コストの増加

SPD は、特定のタスクを実行するための実際の経過時間が、1 秒未満の応答時間に伴い減少し、トランザクション・レートを増加させるかどうかを確認するために、様々な研究所で追加の一連のテストを実施した。これらのテストでは、エンジニアのグループがカードの配線タスクに習熟した後、システムの応答時間が主要な変数となる条件下でタスクを実行するように依頼された。SPD は、各エンジニアがカードを配線するのに必要な経過時間と、セッション中に提供されるシステム応答時間を関連づけた。

4 つの研究所で得られた知見はすべて、カードの配線タスクの実行時間が大幅に短縮されたことを示した(図 8)。研究所 A では、システム応答時間が 0.1 秒短縮されるごとに、タスク時間が 4.5 分短縮された。カードの配線時間は 82 分から 66 分に短縮され、応答時間が 6 秒から 0.25 秒に短縮されたため、20%の改善となった。研究所 D では、システム応答時間が 0.1 秒改善されるごとに、タスク時間が 3.6 分短縮された。これに対応して、システムの応答時間が 0.6 秒から 0.25 秒に短縮されたとき、カードの配線時間は 36 分から

23.5分に短縮され、生産性が35%向上した。

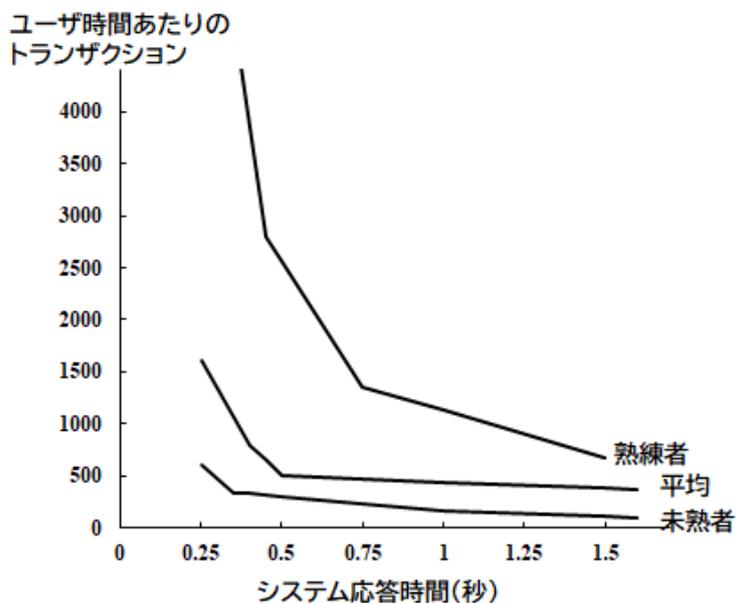


図 7:高機能グラフィックス、トランザクション・レート対システム応答時間

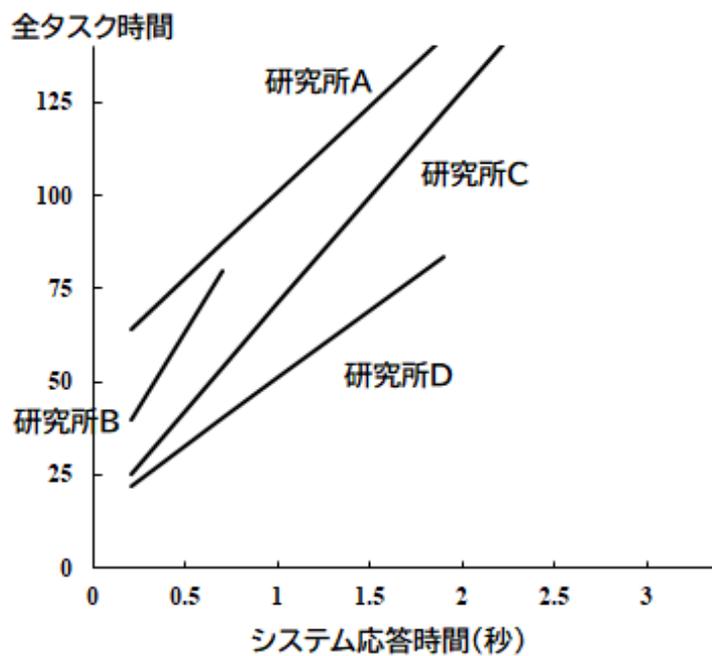


図 8:4つのIBM研究所における、カードの配線の実験で見出された、改善されたシステム応答時間が全タスク時間に及ぼす効果

プロジェクトスケジュールの短縮

イギリスのポーツマスにある IBM のプログラム開発施設の経営陣は、ドハティとサドハニの研究に可能性を見出した。自分たちでテストを行うために、彼らは以降のプロジェクトに携わる各プログラマに、個別の端末と 1 秒未満のシステム応答を提供した。この施設の人たちは、慣例として、個々のプログラマやプログラミング・グループのアウトプットを測定しており、長年にわたって、あるプロジェクトが必要とする時間とリソースを見積もるためのかなり正確な手法を開発してきた。従って、その見積りの 1 つから大幅に逸脱したら真の差異と見なすことができ、グループのパフォーマンスの有効な比較ができるようになってきている。

施設内の殆どの端末は、システムに直結した高速回線ではなく、比較的低速なデータ通信を使った通信ネットワークで運用されている。テスト・プロジェクトの各端末は、高速のローカル通信回線でシステムに接続された。この変更により、プロジェクト・チームのシステム応答時間は、施設全体で一般的な 2.3 秒から 0.84 秒に短縮された。

プログラムのサイズと複雑さの両方を考慮した尺度である、プログラム内で予想される機能ポイント数に基づくと、このプロジェクトには 19 週間にわたって 30.8 人月のプログラマ時間が必要だと見積もられた。実際には 4 週間早く完了し、プログラマ時間は僅か 18.7 人月で、予想より 39%短縮された。

また、チームの生産性は、比較の基準として機能ポイントを用い、6 ヶ月前の同様のプロジェクトでのパフォーマンスと比較された。1 秒未満のシステム応答だと、平均的なプログラマは 14.4 機能ポイント/月を生産し、以前のプロジェクトで平均的なプログラマが生産した 9.1 機能ポイント/月よりも 58%多いアウトプットとなった。

品質の向上

このプロジェクトのプログラマたちは、彼らが受け慣れていたよりもはるかに優れたレベルのサービスを提供されたため、通常では追求しないような幅広い問題解決を模索し、オンライン作業の範囲を広げた。彼らの専門的な熱意は、品質保証部門のその後のレポートによって正当化された。そこでのテストでは、チームの以前のプロジェクトにおける 100 機能ポイントあたり 6.9 のトラブル・レポートと比較して、100 機能ポイントあたり 3.0 のトラブル・レポートしか見つからなかった。

幅広い適用性

これまでに説明した研究には、科学者、エンジニア、プログラマが対象だった。管理専門家でのテストで、データベース・アプリケーションにおける 1 秒未満の応答時間でも同じメリットが実現できることが示されている。IBM のポキプシー施設の部品予測担当者は、電子部品の要件を見積もる際に、オンライン・データベースを頻繁に参照している。この作業には、部品在庫、部品表、生産と配送のタイムテーブルの維持が含まれ、すべてのタ

スクは多くの組織に配属された生産プランナーが処理するタスクと似ている。

5 人の部品予測担当者には、トランザクション・レートが生産性が測定された半日の実験に対して、1 秒未満の応答時間が提供された。通常の作業環境では、システム応答時間は 5 秒以上で、個人の生産性は 1 時間あたり平均 99 トランザクション・レートだった。このテスト期間中、彼らは 1 時間あたり平均 336 のトランザクションを処理し、生産性は 339%向上した。

他のコンピューティングへの影響

応答時間の改善は、処理への要求を減らすものではない。コンピューティングを短時間に圧縮することで、タスクのパフォーマンスを高速化する。従って、これらのタスクの多くが通常の営業日の間に実行できるようになると、より速い応答によって生まれる勢いが失われなければ、コンピュータはバッチ処理とトランザクション処理の両方で大幅に増加した量のオンライン作業を処理しなければならないだろう。

例を挙げて説明しよう。プログラムのオンライン入力、バッチ・コンパイル、デバッグに 1 億個の命令の実行が必要であるとする。更に、この実行は、数秒の応答時間と 2 時間のバッチ処理時間で作業するオンライン・プログラマが、1 日で達成すると仮定する。生産性を向上させるために、このプログラマに 1 秒未満の応答時間と 1 時間のバッチ処理時間を提供しよう。そのうち、このプログラムの完了時間は 4 時間に短縮されるかもしれない。そのうち、1 億個の命令の実行が半分の時間で完了するだろう。

国立衛生研究所(NIH)と IBM のポーツマスの研究から得られたデータは、この結論を裏づけている。NIH では、作業セッションごとに平均 90 のトランザクションと平均 2 のバッチのサブミットがあった。これは、作業セッションの長さがコンピュータの応答時間によって異なる場合でも変化しなかった。ポーツマスでは、機能ポイントごとに消費される量で測定される処理時間はほぼ一定だった。従って、応答時間が 1 秒未満のプログラマが消費する毎日の処理時間は、各人がより多くのアウトプットを生産していたため、増加した。このように、システム応答時間の改善による生産性のメリットを最大限に引き出すには、コンピューティング・センターは、すべてのサービス・レベルを向上させる準備しなければならない。これは、システムのサイズを拡張するか、オンライン作業負荷の一部をより小規模なローカル・システムに分散することによって行えるかもしれない。ソリューションの詳細は、組織の総合的なコンピューティング環境によって異なる。

コスト/メリットの例

迅速なシステム対応の潜在的なメリットを大局的に見るために、1 つの例を考えてみよう。サドハニが公開したデータ(図 2)に基づく、平均的なユーザは 3 秒の応答時間で 1 時間あたり 180 のトランザクションを完了できる(図 9)。簡単にするために、180 のトランザクションを含み、完了までに 1 時間かかるタスクを想定する。1 人のユーザが 1 日に 8 つ

のタスクを完了することができる。更に、ユーザの時間の負担額は 1 時間あたり 35 ドルと仮定する。これらの数値は、この例の目的に合わせて、一定に保つことにする。

システム応答時間(秒)	トランザクション/時間*	タスク時間(分)	タスクあたりの節約時間(分)	1日あたりの節約時間(分)
3.0	180	60.0	-	-
2.0	208	51.9	8.1	64.8
1.0	252	42.9	17.1	136.8
0.6	279	37.7	22.3	178.4
0.3	371	29.1	30.9	247.2

図 9:システム応答時間が 3.0 秒から 0.3 秒に改善されたときに、
1 日にユーザが節約できる時間の計算結果

*サドハニのデータ(図 3)に基づく

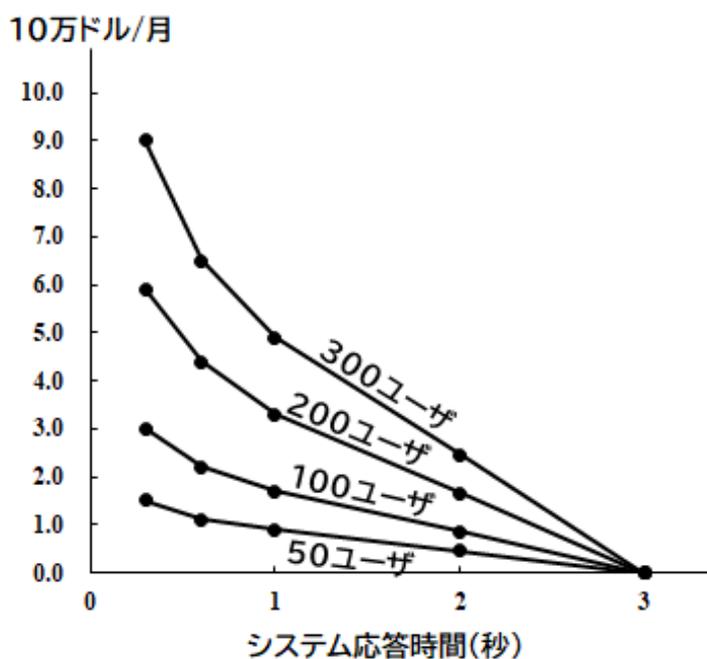


図 10:同時ユーザ数の変化に伴う、
迅速なシステム応答に対する潜在的な月あたりの節約

システムの応答時間が向上すると、タスクの完了に必要な時間は元の 60 分から、わずか 29.1 分に短縮される。平均的なユーザは 1 日に 8 つのタスクを完了するため、節約できる最大時間は 247.2 分、つまり 4.1 時間である。21 営業日の 1 ヶ月で、これらの節約された時間の価値は 3,028 ドルとなる。

オンライン・システムがサポートする同時ユーザ数は、必要な応答時間の改善の量と同様に、組織ごとに異なる。しかし、この図(図 10)のすべてのケースで、システムの応答時間を 3 秒から 1 秒未満の範囲に短縮する財務的インセンティブは相当なものであり、一度に 50 人しかシステムを使用しない場合の 150,000 ドル/月から、300 人が同時にシステムを使用する場合の 908,000/月に及ぶ。

結論

迅速なシステム応答時間は、最終的には 1 秒未満の値に達し、適切なシステム・サポートとともに実装されるため、ユーザの生産性が大幅に向上することが期待される。IBM など はこれを検証し、作業の単価が削減に繋がることを実証した。他の組織は、この概要で言及されている内容と同様の研究を追求し、独自のオンライン・システムに 1 秒未満のシステム応答を実装したいと考えるかもしれない。