

第5章

結 論

5.1 本論文の研究対象と成果

5.1.1 研究のアプローチ

近年、電子マネーや鉄道乗車券システムなどに見られる非接触ICカードを使ったシステムは、高負荷トランザクションを処理する情報サービスシステムと設備機器を含む制御システムとの異種統合型情報サービスシステムである。このような異種統合型システムにおいてはシステムの障害、拡張、保守などのシステム状況変動時にも、高速性、高信頼性とリアルタイム性を両立させ、サービスの継続を保証するアシュアランス性が求められている。

このため、本論文では、これまでのような、情報システムの視点ではなく、制御システムの視点から情報サービスシステムを考察し、高速性と高信頼性の両立とシステムの安定稼働を実現するため、時間軸の異なる「時間差異種データフィールド」を提案し、この技術による「異種統合型情報サービスシステムアーキテクチャ」の構築とアシュアランス性保証のための自律分散技術とその評価方法が必要であることを示し、このシステムアーキテクチャ構築技術とそれを基にして、高速性と高信頼性を実現するための2つの自律分散アシュアランス技術とアシュアランス性の評価技術について提案した。さらに、実システムに適用し、その有効性を実証した。

本論文の2章では異種統合型情報サービスシステムに必要な分散技術の動向について、3章ではシステムアーキテクチャ、アシュアランス性を実現する技術について、4章では鉄道乗車券システムへ適用したときの、システム構築技術と2つのアシュアランス技術、アシュアランス性評価技術について、それぞれ考察、検証を行った。以下では、各アプローチにおける成果の概要についてまとめる。

5.1.2 異種統合型情報サービスシステムアーキテクチャ構築技術の確立

異種統合型情報サービスシステムにおいては異種ニーズとして高速性と高信頼性があり、これらを実現させるためには制御システムと情報システムという異種の

システムの共存技術が必要である。このために、従来システムでは異種ニーズ／異種モード共存下でシステムのアシユアランス性を満たすことが困難であることを述べた。これらの課題を解決するため、異種統合の視点に立ったシステムアーキテクチャが必要であることを示し、異種統合型情報サービスシステムアーキテクチャを提案した。このシステムアーキテクチャでは、異種データの特성에応じてデータフィールドを構成し、それらが目的に応じてゲートウェイを介してデータを交換できるようにしてある。ここで各サブシステムに自律性を持たせ、それらがデータフィールドを介した連携により、システムの部分的障害、拡張、保守においても、稼働の継続性が保証可能にした。

このように、時間差により処理を行う「時間差異種データフィールド」技術を提案し、異種統合型情報サービスシステムのシステムアーキテクチャ構築技術を確立した。

5.1.3 高速性と高信頼性のためのアシユアランス技術の確立

前項のシステムアーキテクチャを基に高速性と高信頼性を確保するアシユアランス技術について以下の2つの技術を提案した。さらにそのようなアーキテクチャと技術のもとで、アシユアランス性を評価する技術を提案し、その有効性を明らかにした。

(1) 自律分散高速処理技術の確立

異種統合型情報サービスシステムにおいては「制御システム」リアルタイム処理の条件下で「処理の高速性」と「サービスの継続性」が求められているが、サブシステムレベルでは情報（データや処理法）が不完全だったり、情報が局所的だったりするという課題がある。この課題を解決し、「高負荷トランザクション処理の高速化」という目的を達成するため、異種統合型情報サービスシステムのアーキテクチャを使った高速処理技術として「自律連携処理技術（自律分散アルゴリズム）」を提案した。

「自律連携処理技術」では、各サブシステムが持つ情報の局所的条件下で、サブシステムごとの処理の分散化／サブシステム間の連携と処理時間との関係を導出した。この技術により、高速処理を達成するための最適なシステム分割／連携度合をトランザクションの発生特性に応じ求められることを示し、その技術を確立した。

(2) 自律分散高信頼性技術の確立

高負荷トランザクションの情報サービスシステムにおいては、高速処理と高信頼性の確保に加えて、サービスの継続を保障するアシュアランス性も求められている。サービス継続性の観点から、障害が発生してもシステムを停止することなく稼動を継続させることが必要であり、このため、サービスの継続と高信頼性を確保する技術として「自律分散整合化技術」を提案した。

この技術は、リアルタイム処理制限下での高トランザクション処理において生じるデータの欠損を回復するため、データフィールドごとにデータの滞留時間を変化させた「時間差異種データフィールド」を構成し、それらの連携によるデータ間の論理的整合化を図る技術である。この技術により、トランザクションの発生特性に応じて整合化達成時間を最小にする、異種データフィールド数と各データフィールド間の時間差を導出可能とし、その技術を確立した。

(3) アシュアランス性評価技術の確立

異種統合型情報サービスシステムの異種モード共存環境下におけるシステム稼動の保証度合の評価において、「機能量×稼動時間」最大化を実現するための評価基準について、明らかにした。異種のモードが共存し、しかもそれらが時間と共に変化する環境下で、システムの稼動を保障しうる性質であるアシュアランス性に着目し、その観点から、システム全体を評価するための評価指標として、「機能信頼性評価技術」を提案した。

システムのアシュアランス性は「機能量×稼動時間」の最大化を保障する事であるため、その評価指標のアシュアランス度を以下のように定義した。

システム稼動の保証度合のアシュアランス度 A_f

$$= \sum \sum (\text{機能} \times \text{信頼度} \times \text{稼動時間}) / (\text{全体機能} \times \text{所定期間})$$

$$= \sum \sum (\text{機能達成度} \times \text{信頼度} \times \text{稼動時間}) / \text{所定期間}$$

ここで機能達成度 = 機能 / 全体機能である。

さらに、「機能達成度×信頼度」を「機能信頼度」と定義し、システム稼動の保証度合のアシュアランス度 A_f を機能信頼度の所定期間（ミッション時間）全体にわたる「平均機能信頼度」と定義した。

$$= \sum \sum (\text{機能信頼度} \times \text{稼動時間}) / \text{所定期間}$$

5.1.4 鉄道乗車券システムへの適用によるアシュアランス技術の確立

鉄道乗車券システムは朝夕のラッシュ時に高負荷トランザクションとなり、このときに高速な処理が求められる。また、運賃というお金にかかわる情報を処理するため、信頼性の確保も必須事項である。最近ではさらに安定稼動が求められており、流動性の確保はもとより、サービスの継続性についても重要になっている。

このような、鉄道乗車券システムは、無線 IC カード／有線ネットワーク／ゲート装置など複数の手段を含む制御／トランザクション処理の統合された「異種統合型情報サービスシステム」である。乗客の流動性を妨げることなく、処理の高速性、高信頼性を実現するため、この鉄道乗車券システムに対し提案したシステムアーキテクチャと 2 つのアシュアランス技術を適用し、それらの有効性を実証した。

また、実システムの設計において機能信頼性評価技術が有効に活用されることも明確にした。さらに、システムの規模拡大とトランザクションの急激な増大に対しても、アシュアランス性が満たされていることを実証し、鉄道乗車券システムへの適用によるアシュアランス技術を確立した。

(1) 自律連携技術の確立

鉄道乗車券システムの基本機能は、不正カードのチェックと運賃計算処理である。この処理は通常は鉄道の降車する駅の端末で行われるため、降車駅の端末の処理負荷は大きい。このため、端末レベルでの高速処理を可能とする「自律連携技術」を提案し、その高速処理技術の有効性を評価した。自律連携処理を使った分散システムと自律連携処理を使わないシステムとして、集中システムの 2 つのシステムモデルを提案した。システムの有効性とその条件を明らかにし、技術の評価するため、この 2 つのモデルについてシミュレーションを行った。

その結果、この技術により、一定の条件下で、最適なシステムの選定と、トランザクション数（42700 件／日）や駅数（43 駅以上）などが、トランザクションの発生特性に応じて求められることを示し、この技術の有効性を証明した。

(2) 自律分散整合化技術の確立

鉄道乗車券システムにおける、無線通信方式の IC カードと自動改札機リーダ／ライターとの処理は、ユーザーの使用方法に依存するため、リアルタイム処理制限下で高トランザクション処理による、データの欠損、いわゆる「データ抜け」という重大な問題がどうしても発生してしまう。このため、「データ抜け」が発生してもシステムを止める事無く、データの信頼性を確保するため「自律分散整合化技術」を

鉄道乗車券システムに導入した。従来技術の集中システムではデータが損失した状態での稼動を許す事ができず、システムを停止して、障害に対応していた。しかし、「自律分散整合化技術」では一定の条件下でシステムの稼動を許容するため、従来の評価法では両者の正当な比較・評価ができないといった問題があった。

この問題に対応するため、機能信頼性評価法を用いて、整合化処理を行う自律分散型システムと、従来の整合化処理を行わない集中管理型システムを比較した。まず、システムアーキテクチャ、障害の起きるパターン、その障害がシステムにどのような影響を与えるかという事を調査し、それに従いシステムのモデル化を行った。また、IC乗車券システムの基本機能は、不正カードのチェックと運賃計算処理であるので機能信頼性における、最小単位である機能量を「データの一致」と定義した。さらに、旅客の利用方法とエラー確率は実測値を用い、カードに保存できるデータ件数、整合化技術の回数を設計パラメータとしてシミュレーションを行った。

また、エラーの発生確率を変化させた場合のシミュレーションも行い、そのことからエラー発生確率に対応して、カードに適切なデータ容量を持たせることが重要であることを明らかにした。シミュレーションによる評価の結果、現在の実測値であるエラー発生確率においては現状の設計値であるカードの保存件数20件、整合化処理3回が適切である事を証明した。

このように、システムのモデル化、機能信頼性評価技術の適用、評価を行うことによって「自律分散整合化技術」の有効性を実証した。

5.1.5 最適な設計パラメータ評価手法の確立

改札機のリーダ／ライタの通信エリア（半球状の半径）は高速処理性と高信頼性にかかわる重要な設計パラメータであることを明らかにし、その最適な設計値を求める方法を提案した。

「サービスの継続性」という観点から、特に信頼性に関する「エリア内通過時間」の実測値から近似式を求めて、エラー率と通信エリアとの関係を明らかにし、サービス継続指数」として定義した。一方で「流動性」の観点から、カードと人の改札機の通過度合いとして、「流動性指数」を定義し、通過量と通信エリアの関係を明らかにした。

この2つの関係は流動性が良くなると信頼性が低下し、サービス継続性が低下する。この2つの関係を実システムでシミュレーションしその結果、通信エリアの最適値が0.07mであることがわかった。これは実際のシステムとほぼ一致しており、この手法の有効性が実証された。

5.2 今後の課題

本論文では、異種統合型情報サービスシステムの高速性と高信頼性を実現するためのニーズと課題を明確化し、これを実現する技術として「異種統合型情報サービスシステムアーキテクチャ」構築技術と2つの自律分散技術、アシュアランス評価技術を提案した。その結果を鉄道乗車券システムへ適用しアシュアランス性の面から評価比較してその有効性を確認し、システムの方式を決定することが出来た。さらに、最適なシステム設計を行うための手法について提案し、最適値を求め、その有効性を確認した。

今後、本論文で提案したアシュアランス技術とアシュアランス性評価技術についての課題としては以下のように考える。

鉄道乗車券システムについて、モデルを用いてアシュアランス性の評価を理論的に求めてきたが、実際のシステムはもっと複雑で多岐にわたっており、「データ的一致度」以外にも機能は多くある。今後は、現在の「鉄道乗車券システム（ICカード Suica 乗車券システム）」での実績をもとに各アシュアランス技術、評価手法の検証をさらに深度化したいと考える。

また、高速処理では一定の条件（高トランザクションや駅数が多い）では分散処理がよいとの結論を得た。これは高トランザクションや駅数の多い中規模以上の鉄道会社へは本論文で提案した技術の導入が適していることとなる。また、高信頼性の面でも整合化技術を導入した分散システムが良いとの結論を得ている。鉄道のシステムはトータルとして機能する必要があるため、分散システムの導入がトータルとして優位性があることを示唆している。今後、多くの鉄道・バス各社がICカード乗車券システムの導入を検討している。導入にあたっては、短期間に多くの投資が必要となるため、中小規模の鉄道・バス会社などにおいては年間の投資額の制約から、一括してすべての機能を持ったシステムの導入は出来ないところもある。そこで、本論文で提案した、異種統合型情報サービスシステムの特徴である、異種システム共存可能技術により、サービスを継続しながら、長期間にわたってシステムを構築する事が可能となる。具体的には、まず、ICカード乗車券システムの基本機能を導入し、その後、順次その時々に合わせてサービス機能を付加していくことも可能であるので、年間の投資額を抑えることが出来る。さらに言えば、このような機能の拡張がサービスを停止することなく継続して稼動した状態で新サービスと旧サービスの切り替えや機能増強が可能で在ると考えられる。サービスという視点だけでなく、投資計画というマネージメントビューという視点から見たときには、また違

った構築技術が必要になる場合も考えられる。今後は、このような視点からの検討も必要になると思われる。

現在、「ICカード Suica 乗車券システム」は導入当初の完結した自社インフラから各種の施策により、他社システムとの結合が進み、オープンなインフラへと変化している。他社とのシステム結合は今後益々多くなるものと思われる。また、最近の銀行や証券取引所などのシステム障害に見られるように高負荷トランザクションの情報サービスシステムにおける、高速処理性と高信頼性を確保することは、今後システム間の結合が進んでくると、企業経営の面からも非常に重要な位置を占めてくるといえる。

本論文の「異種統合型情報サービスシステムアーキテクチャ」構築技術や高速性と高信頼性を両立させる 2 つのアシュアランス技術は他の企業システム（E-Commerce 等）への本技術の適用が有効であると考えられる。他企業との間で、システムニーズは同じであっても、システムの持っている目的がそれぞれの企業の経営方針の違いから、ニーズの質と量は異なっていると考えられる。そのような異種システムを共存させながらシステムを統合・結合する技術、つまりサービスを提供しながらシステム拡張が行えるようになれば、利用者にとってもメリットがあるばかりでなく、企業経営にとっても、より柔軟な企業戦略とシステムの品質が確保できるので大きなメリットを持つことが出来る。

以上のように、今後、交通業界においては、本研究で提案したアシュアランス技術と評価手法を用い、より具体的、定量的な検討を行い実用に供していきたいと考えている。さらに、鉄道乗車券システム以外においても、今後ますます重要性の高まる、高トランザクションの「異種統合型情報サービスシステム」に対するアシュアランス性を保証する技術として、高速処理性、高信頼性の必要なシステムに本研究の成果を導入したいと考えている。