

多重 Ambient Calculus を用いた海上物流監視システム

高岡 久裕†

加藤 暢‡

樋口 昌宏‡

近畿大学大学院 総合理工学研究科

1 はじめに

海上コンテナ輸送ではコンテナの積み込みや積み降ろしの確認が人手で行われており、RFID タグなどの電子機器を用いてコンテナを自動的に管理するための研究が様々な機関で行われている。これらに共通するのは、RF タグの ID とコンテナ情報をデータベースなどであらかじめ関連づけておき、リーダーで読み取ったタグ ID をサーバに送り、コンテナ個々の動きをサーバ側で監視するというのである。このようなシステムは、ネットワーク環境が活用できる状態にあることが前提となっている。

これに対し我々は、タグそのものに書き込んだ内容を基にコンテナの積み込みや積み降ろしを監視するシステムとして、多重 Ambient Calculus(MAC)[3] を用いた物流監視システムを開発している [2]。MAC は Ambient Calculus[1] を拡張したプロセス代数であり、動的な階層構造を形式的にモデリングすることに特化したものである。この特徴を生かし、MAC は物流システムの階層構造を簡潔に表現することができる。

ところで実際の海上物流において、中継港を経由して輸送されるコンテナが次にどの船に載せられるかは、遅くとも 1 日前に決定される。そして積み換え作業の際、その情報を基にコンテナの取り扱いを人の手で確認し、積み込み忘れなどの誤りを防いでいる。しかし文献 [2] の物流監視システムでは、複数の船におけるコンテナの取り扱いを同時に監視する事を想定しておらず、コンテナの積み込み忘れを防ぐことができない場合があった。そこで本研究ではこの問題を解決するために、新たな監視プロトコルを提案し、それに基づく分散型の監視システムを構築する。

2 海上物流監視システム

本システムは、実際の海上物流で用いられる物流書類を基に物流システムをモデル化した MAC のプロセス式を生成し、RFID 機器を用いて検出するコンテナの移動がプロセス式の遷移に沿ったものであるかを調べるものである。RF タグには、そのコンテナにおけるプロセス式を書き込み、実際のコンテナの移動と RF タグが保持するプロセス式を比較することで、コンテナの移動が正しいかどうかを監視する。

本システムの構成を図 1 に示す。本システムは、コンテナやコンテナ内の貨物の取り扱いを検知するための RFID 機器と、それらを管理する 5 種類の PC を使用する分散型システムである。

- ゲート PC: コンテナがゲートを通り、コンテナヤードへと入ることを監視する
- クレーン PC: コンテナヤードから船へのコンテナの積み込み、及び船からコンテナヤードへのコンテナの積み降ろしを監視

する

- 船 PC: 船に積み込んでいるコンテナを管理し、出港、入港といった動作を監視する
- データベース PC: コンテナや船のプロセス式などを管理する
- トップサーバ: サーバの役割を持ち、これらの PC を管理する

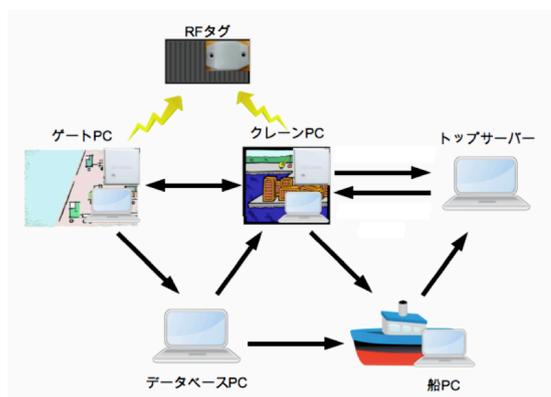


図 1 各機器の配置

3 積み込み忘れ防止プロトコル

積み込み忘れ防止プロトコルとは、コンテナが中継港で次の船に乗り換えるような場合でも積み込み忘れを確実に防止できるような監視手順である。文献 [2] の物流監視システムは、各港でそれぞれ 1 台のクレーンを使ってコンテナの取り扱いを行う単純な物流システムを対象としたものであった。このため、乗り継ぎの船が入港した際の港のコンテナヤードには、積み込むべきコンテナが全て到着している状態にあることを前提としていた。しかし、現実の港では通常複数のバースに複数の船が同時に停泊可能であり、より複雑なコンテナの取り扱いが行われている。そこで本研究では、このような港も対象に含めたより現実に則した物流を監視するシステムの構築を目的とする。

このような海上物流では、港におけるコンテナの積み込み積み降ろしは、複数のクレーンを用い並行して行う場合がある。そのため、複数のクレーンに監視機能を持たせた分散型の監視システムとして実装する (図 2)。ところで複数の船が同時に停泊ができる港では、乗り継ぎの船が先に入港し、積み換え予定のコンテナがまだ到着していない場合が想定される。文献 [2] のシステムでは、コンテナ到着の際に RFID 機器によって乗り換えに関する情報を受け渡していたため、もし、コンテナの到着前に乗り継ぎの船が出港することになっても異常を検知することができない。つまり、文献 [2] の方法ではコンテナの乗り換え時における積み込み忘れが発生する場合は考えられる。

そのため本研究では、物流書類を基に生成されるプロセス式を動的に操作することで積み込み忘れを確実に防止できる、下記のようなプロトコルを提案する。

Freight Management System with the Multiple Ambient Calculus
 † Hisahiro TAKAOKA, Graduate School of Science and Engineering, Kindai University
 ‡ Toru KATO, Masahiro HIGUCHI, School of Science and Engineering, Kindai University

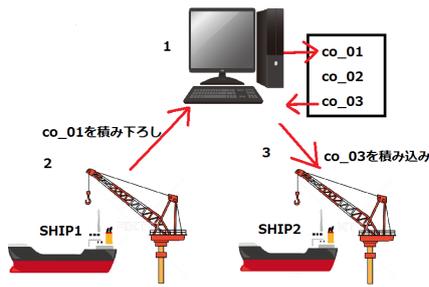


図2 港におけるクレーンの分散処理

1. 物流書類より生成されたプロセス式 (図3) を、コンテナ ambient, 港 ambient, 船 ambient に分割する
2. ambient の式 (図4) をコンテナに貼りつける RF タグに書き込む
3. 港 ambient と船 ambient のプロセス式 (図5) を港に設置する監視システムに持たせる
4. 船に積み降ろしを行う際、コンテナの RF タグより 2. の情報を読み取り、その情報を 3. のコンテナ ambient に上書きする

```

PORT_A|
  CY|
    co_1| open startLoad . load(co_1, SHIP_A)
      | open startUnload . UnLoadDest(co_1, SHIP_A)
      | open arrival.startLoad(in co_1)
    |
  |
SHIP_A|
  in PORT_A . arrival[out SHIP_A . in CY]
  | open lcomp . out PORT_A . in PORT_B
  | open ucomp . out PORT_B
  |

```

図3 物流書類を基に生成されたプロセス式

```

co_1| open startLoad . load(co_1, SHIP_A)
  | open startUnload . UnLoadDest(co_1, SHIP_A)
  |

```

図4 コンテナ ambient

```

PORT_A|
  CY|
    co_1| |
      | open arrival.startLoad(in co_1)
    |
  |
SHIP_A|
  in PORT_A . arrival[out SHIP_A . in CY]
  | open lcomp . out PORT_A . in PORT_B
  | open ucomp . out PORT_B
  |

```

図5 港 ambient と船 ambient

図5の式は、コンテナの積み込みを行わなければ港Aから出港できないようになっている。そのため、RFタグの情報を読み込まなくても港の監視システムが持っているプロセス式を用いることで、船が出港して問題がないかを判断でき、誤った出港を防ぐことができる。

船が港に到着し、積み込み積み降ろしが行われる際にコンテナに貼りつけられているRFタグからコンテナのambient式が読み込まれる。その際のプロセス式と港の監視システムが保持しているプロセス式を結合させることで、1つのプロセス式として式の遷移を行う。正常に式を遷移した後に、プロセス式を再び分割して

コンテナ ambient の式だけを取り出し、コンテナのRFタグに書き込む。このような一連の手順が正常に行われた場合は、船の出港許可を出す。この手順を他の船、および港でも行う。

4 実験・結果

本機能の有用性を示すために行った屋内実験 (図6) について述べる。

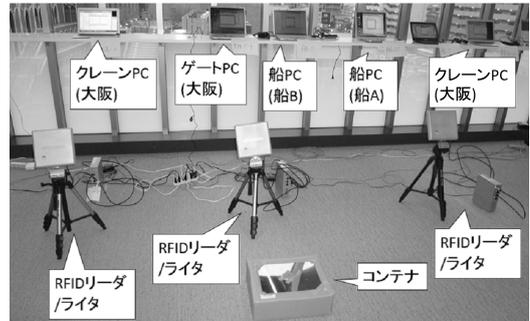


図6 屋内実験の様子

屋内実験は、コンテナに見立てた箱にRFタグを貼りつけ、港に見立てたPC間を移動させる事で行う。ここでは、コンテナ1つを東京港から大阪港へ船Aで運び、大阪港から船Bで香港港へ運ぶという物流計画に対する監視実験について述べる。船Aは東京港でコンテナを積み込み大阪港へ出港する。船Aが大阪港に入港した際に、船Bも大阪港へ入港し2隻が大阪港に存在する状態にする。そして船Aがコンテナの積み下ろしを行う。その後、船Bは積み込みを行わず出港を試みる。その結果、コンテナを積み込み忘れた場合は、船が出港できないことを確認できた。

5 結論

本研究ではコンテナの積み込み忘れ防止プロトコルを備えた海上物流監視システムの構築を行った。これにより、コンテナが中継港で次の船に乗り換えるような場合でも積み込み忘れを確実に防止できる。そのため、コンテナを載せた船が港に到着する前において、乗り継ぎを行う次船は港のコンテナを全て積み込んだとしても、そのコンテナの積み込みが完了するまで出港できないような柔軟な対応が可能となる。

しかし、本システムでは船1隻に対して1つのクレーンを用いた積み込み積み降ろししか監視することができない。そこで、複数のクレーンを用いて1台の船への積み込み積み降ろしを行うような、より現実的になったコンテナの取り扱いを監視する分散型のシステムの実装を行う必要がある。

参考文献

- [1] Luca Cardelli, Andrew D. Gordon. Mobile Ambients. LNCS, Vol. 1387, pp. 140–155, 1998.
- [2] 宮井亜人夢, 加藤暢, 樋口昌宏. 多重 Ambient Calculus を用いた海上物流監視システムのための動的経路設定機能. 情報処理学会論文誌プログラミング, Vol. 9, No. 4, pp. 29–29, 2016.
- [3] 樋口昌宏, 加藤暢. 物流システム記述のための多重 Ambient Calculus. 情報処理学会論文誌, Vol. 5, No. 2, pp. 79–87, 2012.