

# 動的な変更を伴う海上物流計画に対する 多重 Ambient Calculus を用いたモデル検査手法

寺尾 侑<sup>†</sup> 加藤 暢<sup>†</sup>

近畿大学大学院総合理工学研究科<sup>†</sup>

## 1 はじめに

現在、貿易全体における海上コンテナ輸送の割合は70-80%であり [1], 扱われるコンテナは年間数千万個に及ぶが、このコンテナの積み込み/積み下ろしの最終確認は、コンテナ・ヤード内の係員が主体となって目視で行っている。これに対し我々は、多重 Ambient Calculus [2] と RFID を用いた物流監視システムに関する研究を行っている [3].

海上物流には、船舶が港間を移動したり、コンテナが船舶から港に下ろされるという動的な階層構造が存在している。MAC はこのような構造を代数式で表現するために提案されたプロセス代数である [2]. 本監視システムは MAC のプロセス式でモデル化した物流計画と RFID で検知した実際の物流の動きを対比し、コンテナが物流計画通りに輸送されているか監視するものである。

しかし、このプロセス式が実際の物流を正確に反映したものではない場合、それに基づく監視活動も無意味なものになってしまう。そこで文献 [3] では、このプロセス式に対してモデル検査を行うことで、物流計画に矛盾がないか確認するモデル検査システムも提案されている。一般に、1つ1つのコンテナに対してモデル検査を行うと、あらゆる場合を考慮した場合、容易に状態空間爆発が起こり検査が困難になってしまう。これに対し、文献 [3] では、弱双模倣等価性を定義し、同じ荷受港と目的港を持つコンテナをグループ化することにより、多数のコンテナに対するモデル検査を少数のコンテナのモデル検査に帰着させ、この問題を回避している。

しかし、実際の物流では、コンテナは荷受港で計画された通りの中継港を通るとは限らない。天候や繁忙期等による船舶の積載限界等が原因で当初予定していた

船舶に載せ換えることができない可能性が生じる。また、コンテナによって重要度が異なり、その重要度によっては早く目的港に到着しなければならないことがある。

本稿ではこのように各中継港で動的に与えられる輸送計画を基に、コンテナグループを更に動的に再グループ化し、実際の物流の動作がより正確に反映できるモデル検査システムを提案する。

## 2 多重 Ambient Calculus による物流記述

文献 [2] において提案されている MAC では、 $n$  個のプロセス式の組  $\bar{P} = (P_1, \dots, P_n)$  で一つの物流計画を表す。以下ではプロセス式  $P_i$  を個別式と予備、 $\bar{P}$  を全体式と呼ぶ。

### 物流計画の記述例

物流計画の表現として、Ambient Calculus を用いて、通常海上物流に用いられる送り状 (invoice) の記載内容の、1つの貨物  $x$  を港  $y$  から港  $z$  への輸送を表現した式は以下のように記述できる。

定義 2.1 (Invoice 式).

$$\text{Invoice}(x, y, z) \triangleq$$

$$\text{SHIP}[ \text{in } y. ( \text{load}[ \text{out SHIP.in CY. in } x ]$$

$$\quad | \text{open } \text{lcomp. out } y. \text{ in } z. \text{out } z ] ]$$

$$| y[ \text{CY}[ x[ \text{open load. out CY. in SHIP}$$

$$\quad . \text{lcomp}[ \text{out } x ] ] ] ]$$

$$| z[ \text{CY}[ ] ] ] \quad \square$$

同様に、船の航路のみを表現した式を例えば以下のように記述できる。

定義 2.2 (SHIProute 式).

$$\text{SHIProute} \triangleq$$

$$\text{SHIP}[ \text{in TK.out TK.in KB.out KB.in MJ.out MJ}]$$

$$| \text{TK}[ ] | \text{KB}[ ] | \text{MJ}[ ] \quad \square$$

定義 2.1 と定義 2.2 を組み合わせた物流計画を表す式を以下のように定義する。

A Model Checking Method for Dynamic Changing Freight Schedule with Multiple Ambient Calculus

<sup>†</sup>Yu TERA0 and Toru KATO, Graduate School of Science and Engineering Research, Kindai University

定義 2.3 (物流計画を表すプロセス式).

$$\bar{P} = (P_1, P_2, \dots, P_n)$$

$$P_i = SHIProute_i (0 < i \leq N_0)$$

$$P_i = Invoice(c_i, S_k, D_k) (N_{k-1} < i \leq N_k)$$

$$(1 \leq k \leq R)$$

□

ここで、 $N_0$  は輸送に用いる船の数、 $R$  は積荷港、荷降ろし港で分類した貨物の種類、 $N_k - N_{k-1}$  は  $k$  番目の種類の貨物の数を表す。この式は現在の物流計画を表し、式を遷移させることで将来の物流計画の状態を表現することができる。本論文では定義 2.3 のような式を検査の対象とする。

### 3 物流システムに対する Ambient Logic とモデル検査システム

本稿では、物流システムが持つべき性質として例えば、「いつか必ず  $co$  は  $PORT_B$  に輸送される」という性質を様相論理の一種である Ambient Logic(AL)[4] で以下のように表現する。

$$\Box \Diamond (\heartsuit co[T] \Rightarrow \heartsuit PORT\_B [CY[co[T] | T] | T]).$$

本稿で述べるモデル検査システムは、プロセスがこの論理式を満たすか検査するものである。この式の詳細は、文献 [3] に譲る。

文献 [3] で提案されているモデル検査システムは荷受港で図 1 のように大量のコンテナ群を荷受港と目的港が同じコンテナの集合にグループ化する。

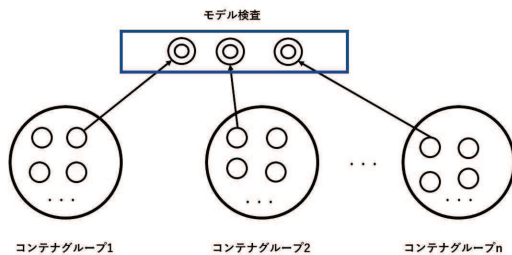


図 1: コンテナのグループ化と不変式の選出

ここで各グループから、1つのコンテナを表す不変式と呼ばれるプロセス式を生成し、この不変式 [3] に対し、モデル検査を行うことでそのコンテナが所属するグループ全てのコンテナに対してモデル検査を行ったことと同一の結果に帰着することが出来る。

モデル検査は MAC で記述された物流計画に対して図 2 のような、荷受港から目的港までのあらゆる状況を考慮した状態遷移グラフを生成し、どの状態を通ったとしても必ず目的港に辿り着くという状態が見つかるかどうか検査を行う。

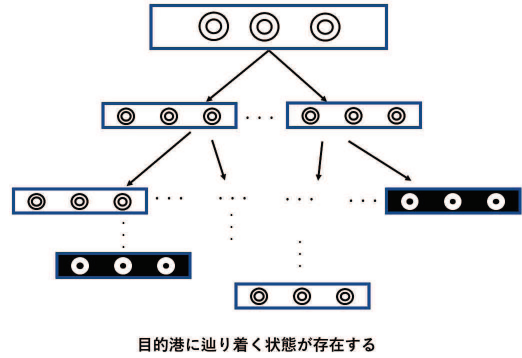


図 2: 状態遷移グラフ

ここで目的港に辿り着く状態が発見できなかった場合、物流計画を見直す必要があると判断し、警告を行って検査を終了する。

本稿では、図 1 を応用し、図 3 の様な再グループ化を各中継港で行い、モデル検査を実施する。

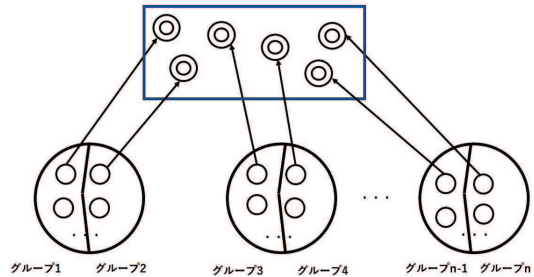


図 3: 中継港における再グループ化

### 4 まとめ

本稿では各中継港ごとに、コンテナグループを実際の海上物流の動作に合わせて再グループ化することで、より正確なモデル検査が可能となる手法を提案した。この手法を基に検査システムの実装をすすめ、検査時間等の検証を行い、実際の海上コンテナ物流で使用しても問題ない程度に検査時間を抑えたいと考えている。

### 参考文献

- [1] 一般社団法人日本船主会: 世界海運とわが国海運の輸送活動, 一般社団法人日本船主協会 (オンライン), <http://www.jsanet.or.jp/data/pdf/data2.2014a.pdf> (参照 2019-12-27).
- [2] 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プログラミング (PRO): Vol.5, No.2, pp.79-87(2012)
- [3] 加藤暢, 高岡久裕, 樋口昌宏, 大山博史: 多重 Ambient Calculus を用いた動的な海上物流計画に対するモデル検査情報処理学会論文誌: Vol.117, No.12, pp.1-6(2018)
- [4] Cardelli, L. and Gordon, A. D.: Any time Anywhere Modal logics for Mobile Ambients, POPL '00, Proceedings of the 2000 ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages, pp.365-377 (2000).