

連続近似モデルを用いたコンテナラウンドユースに関する数理的考察

01900990 東京海洋大学
05001447 福井工業大学*渡部 大輔 WATANABE Daisuke
近藤 智士 KONDO Tomonori

1. はじめに

近年、国際コンテナの輸送量は増加を続けており、港湾と内陸部を結ぶドレイジ輸送における効率化や環境負荷低減とともに、将来的なトラック隊列走行・自動運転の普及に向けた取り組みに対応することが検討されている[1]。輸入に用いた後の空コンテナを港に戻さず輸出に転用するコンテナラウンドユース

(CRU) とは、輸入者から輸出者に直接輸送したり、近隣のインランドコンテナデポ (ICD) を活用したりすることによって、空コンテナ輸送を削減する仕組みである。CRU の成立において、輸出入コンテナのマッチングでは「地理的条件」が第一番目の条件として挙げられている[2]。そこで本研究では、コンテナマッチングシステムやVCY (Virtual Container Yard) の普及を前提として、港湾までの距離と集貨圏の半径による平均距離を連続近似モデルにより導出した上で、港湾と ICD 間の幹線輸送での自動運転の導入を考慮した望ましい CRU の輸送パターンを分析する。

2. モデルの概要

港湾(点P)と集貨圏(点Oを中心とした円盤領域、半径 r)を対象領域として、点Oと点Pの間は距離 l で隔てられており、円盤領域内で一様に発生する輸送需要を想定する。今回対象とするCRUのパターンは、既存の事例[2, 3]を基に表1のように分類した。ICDを利用の場合は、1: 円心立地、2: 端点立地(線分OPと円盤領域の交点)の2つを想定する。一例として、パターンIIとV-1を図1(実線: 実入輸送, 点線: 空回送)のように図示する。輸送費用は下記のような平

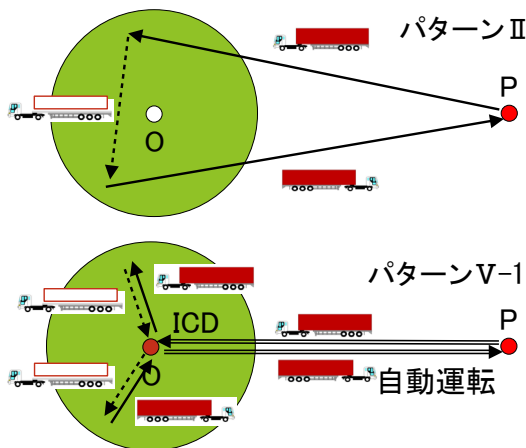


図1 CRU パターンの一例

均距離を用いた上で、自動運転を含むパターン (V-1, 2) では点 P と ICD 間の自動運転による費用低減のコスト係数 α を考慮する[1]。

・円盤領域内における任意の点から点 P までの平均距離 (栗田・腰塚の近似理論式)

$$d_A = l + \frac{r^2}{8l} \quad (1)$$

・円盤領域内における任意の2点間の平均距離 (腰塚の地域内距離の理論式)

$$d_B = \frac{128r}{45\pi} \quad (2)$$

・円盤領域内における任意の点から中心 O までの平均距離

$$d_C = \frac{2r}{3} \quad (3)$$

・円盤領域内における任意の点から領域端点(円周上の点)までの平均距離

$$d_D = \frac{32r}{9\pi} \quad (4)$$

以上の平均距離を基にして、空回送と実入輸送の

表1 CRUのパターン分類

	名称	概要
I	CRU 利用なし	目的地まで直行で輸送され、帰りは空回送で輸送
II	オン・シャーシ方式	目的地にて荷下ろし、出発地まで空回送、出発地にて荷積みをして港湾まで輸送
III	ICD 経由方式	目的地にて荷下ろし、ICD 経由で空回送、出発地にて荷積みをして港湾まで輸送
IV	ICD シャトル方式	ICD を経て目的地へ輸送、ICD へ空回送、出発地にて荷積みをして ICD を経て輸送
V	ICD 自動運転方式	ICD へ自動運転トラックで輸送、ICD にて有人トラックにつなぎ替えて目的地へ輸送、ICD 経由で空回送、出発地にて荷積みをして ICD より自動運転トラックで輸送

表2 CRU パターン分類毎の総輸送距離

	空回送距離	実入輸送距離	総輸送コスト
I	$2d_A$	$2d_A$	$4d_A$
II	d_B	$2d_A$	$d_B + 2d_A$
III-1	$2d_C$	$2d_A$	$2(d_C + d_A)$
III-2	$2d_D$	$2d_A$	$2(d_D + d_A)$
IV-1	$2d_C$	$2l + 2d_C$	$2(2d_C + l)$
IV-2	$2d_D$	$2(l - r) + 2d_D$	$2(2d_D + l - r)$
V-1	$2d_C$	$2\alpha l + 2d_C$	$2(2d_C + \alpha l)$
V-2	$2d_D$	$2\alpha(l - r) + 2d_D$	$2(2d_D + \alpha(l - r))$

距離を求めた上で、それらを足し合わせた総輸送コストを算出すると、表2のように求まる。

3. 数値計算による最適なCRUパターンの導出

3.1 各CRUパターンの総輸送コストによる比較

ケーススタディとして、茨城県坂東市を想定とした集貨圏を検討する。同市は首都圏中央連絡自動車道（圏央道）と連結しており、東京港とは直線距離で約50kmの距離である。領域間距離 $l=50$ として領域半径 r の違いにより、パターンV以外について図2のように総輸送コストが求まる。結果より、パターンII < パターンIII-1 < パターンIII-2, IV-2, IV-1 < パターンI という関係が見られる。

パターンIIについて、総輸送コストは小さいもののマッチングが難しいことから、集貨圏を広げることでマッチングを増やすことが可能となる。図2よりパターンII ($r=30\text{km}$) での総輸送コストは、パターンIII-1 ($r=22\text{km}$) と同程度であることが分かる。

ICDの立地について、パターンIIIでは円心立地(III-1)の方が端点立地(III-2)よりも総輸送コストが大幅に低いことが分かる。一方、パターンIVでは端点立地(IV-2)の方が円心立地(IV-1)よりも総輸送コストが低いものの、その差はあまり大きくないことが分かる。

3.2 自動運転の導入による比較

パターンVであるICD自動運転方式を検討する際、領域間距離 $l=50$ 、領域半径 $r=20$ として、自動運転コスト係数(α)の違いにより、図2のように総輸送コストが求まる。パターンVのみが α により総輸送距離の変化しており、 α が0.66以下でパターンV-1が最も総輸送距離が低くなる。ICDの立地について、 $\alpha=1$ の場合は端点立地(IV-2)の方が円心立地(IV-1)よりも総輸送コストが低いものの、 α が1より小さくなるとIV-1の方が低くなる。

自動運転コスト係数(α)は表3のように求められており[1]、それぞれのシナリオの最適なCRUパターン

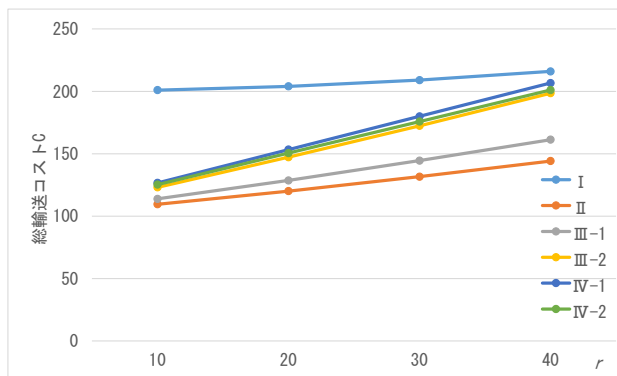


図2 CRUパターンによる総輸送コスト

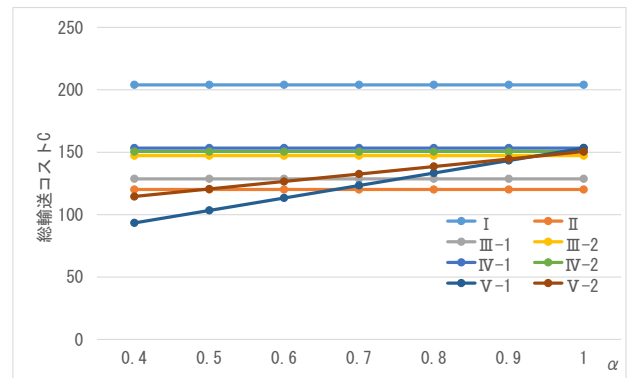


図3 自動運転コスト係数(α)による総移動コスト

表3 自動運転シナリオ事毎の最適なCRUパターン

シナリオ	α	最適 CRU
自動運転等導入なし	1	パターン
トラック隊列走行 (後続有人)	0.833	II
トラック隊列走行 (後続無人)	0.567	パターン
自動運転トラック (FAVs)	0.500	V-1

を求めることができる。トラック隊列走行(後続無人)と自動運転トラックが導入された際にはパターンV-1を用いることが最適であることが分かる。

4. おわりに

本研究では、国際コンテナ輸送におけるCRUのパターン(8種類、ICDの利用有無と立地による違い)に対して、円盤領域を想定した集貨圏と港湾との関係から平均距離を導出した上で、各パターンの総輸送コストを導出した。その結果、パターンII(オン・シャーシ方式)が最もコストが小さいなるものの、マッチングの可能性を高めるために、総輸送コストが同等となる集貨圏の半径を導出した。そして、港湾とICD間における自動運転の導入を考慮し、港湾から50km、集貨圏20kmのケースでは、トラック隊列走行(後続無人)と自動運転トラックが導入された際にはパターンV-1(ICD自動運転方式、円心立地)を用いることが最適であることが明らかになった。

今後の課題として、今回の輸送距離のみならず、停車や荷役、マッチング、待ち時間、ICDの施設関連費用などを考慮する必要がある。

参考文献

- [1] Watanabe, D., Kenmochi, T. and Sasa, K.: An Analytical Approach for Facility Location for Truck Platooning-A Case Study of Unmanned Following Truck Platooning System in Japan-, *Logistics*, 5(2), 27, <https://doi.org/10.3390/logistics5020027>, 2021.
- [2] 埼玉県コンテナラウンドユース推進協議会, 埼玉県: コンテナラウンドユース構成員の取組紹介, 2017.
- [3] 日本ロジスティクスシステム協会: コンテナラウンドユース推進の手引き, 2016