海上コンテナのCSC保守点検 システムに関する一考察

西山安武*・山田猛敏*・松村尚志**

A Study on the Container Inspection and Maintenance System under the CSC

Yasutake NISHIYAMA, Taketoshi YAMADA
and Hisashi MATSUMURA

Abstract

The second revision of the International Convention for Safe Containers (CSC) was adopted at the Maritime Safety Committee of the IMO in 1983, and came into effect at January, 1984. This Convention was ratified already by the Japanese Government, and domestic regulations concerned were also enacted. Under the CSC, all the distributing containers have to be inspected and maintained periodically and have to put CSC Safety Approval Plate on for the proof of sound container.

The purpose of this simulation study is to estimate the sensitivity of the maintenance shop function and the impacts on the efficiency of the container terminal operation and container distribution under the CSC.

The results of study are as follows:

- (1) The strategical variables influencing on the sensitivity of maintenance shop function are the damage rate, the number of containers handled, the repair time and the number of repair team in order of influence size.
- (2) The works of CSC inspection and maintenance should not be start without improvement of existing condition of variables.
- (3) The works of CSC inspection and maintenance can be carried out with one and half times of the existing repair team.
- (4) The repair team reinforced by two times of the existing can cope with the works of CSC under the bad conditions-complex.
- (5) Sufficient capacity for the legal periodical inspection is two channels.
- (6) Under the prediction of increasing the number of containers and damage rate, safe handling in the terminal and control of damage occurrence through the risk management should be carried out.

1. ま え が き

我国においてコンテナ輸送システムが稼動してから早くも16年がたち、主要な外貿雑貨航路の殆んどがコンテナ化され、発展途上国へのコンテナ化も進展中である。

* 正会員 東京商船大学運送工学科 (〒135 東京都江東区越中島2-1-6)

** 正会員 海技大学校航海科 (〒659 芦屋市西蔵町12-24)

現在およそ24万TEU（世界第4位の保有量）にのぼる日本の保有コンテナを含めて、世界でおよそ380万TEU⁽⁴⁾⁽⁵⁾のコンテナが年間平均航海回数2.84航海⁽⁵⁾の割合で世界の海陸を流通し、外貨貨物を安全に効率よく運送している。

この間、1972年に当時のIMCOの国際会議でCSC条約（International Convention for Safe Containers：安全なコンテナに関する国際条約：コンテナ安全条約）が採択され、国際的に発効し日本も既に加入が済み、2回の改正を経たうえ流通する総べてのコンテナについて、いよいよCSC条約のもとで保守点検義務が課せられる運びとなってきた。

本研究は複合荷役方式を採用しているコンテナターミナルを例にとり、条約以前の通常の保守点検フローシステムモデルをもとにして、これにCSC条約により義務化された定期保守点検フローシステムモデルを付加し、ターミナル全体での年間延取扱コンテナ数（実入、空を含む）、点検時事故発生率、修理時間および修理チーム数などをパラメトリックに変化させたシミュレーションをおこない、コンテナターミナルのメンテナンスショップ（MS）の機能感度を分析し、CSC条約による定期検査業務のターミナル流通運営に対するインパクトをマクロ的に予測してみたものである。

2. CSC条約の経緯と関連事項

先にも述べたように当時のIMCOは1969年の第6回総会においてコンテナ輸送に関する国際会議の開催を決め、1972年（昭47）12月に開かれた同会議において、当時流通していたおよそ60万TEUの海上コンテナが将来において増加した場合に、コンテナに人命の安全を阻害する欠陥がないことを確保し、かつ円滑な国際流通をはかるために国際統一安全基準としてのCSC条約を採択した。その後1976年（昭51）9月に10番目の国が批准加入し、翌年の1977年（昭52）9月に国際的に発効となった。また日本は1978年（昭53）6月に批准を終えて17番目の加入国となり、現在はノルウェーが37番目として加入している。この間、1981年（昭56）12月には条約の第1次改正が発効し、次いで1983年（昭58）6月にIMOの第48回MSC（海上安全委員会）において改正がなされ、1984年（昭59）1月1日より第2次改正が発効となった。

この条約の内容は莫大な量の流通コンテナに定期的保守検査等を義務づけるものである。これを受けて日本の国内法としては船舶安全法体系により規制が行われている。

具体的にはコンテナの検査制度、保守点検の実施等は船舶安全法施行規則において、またコンテナの技術的な構造上の安全試験基準等は船舶設備規程に規定され、CSC条約の第2次の一部改正に伴ってこれらの国内法令も改正され、同時に1984年1月1日より施行された。

これらの法令に規制されている事項および従来、邦船社関係でおこなわれていたISO基準による定期検査記録（43項目）⁽⁶⁾やCSC保守点検基準（35項目、日本海上コンテナ協会）⁽⁷⁾などにみられるように検査項目数は相当数にのぼっている。

これらの規制を受けて海上コンテナにはCSCプレート（CSC Safety Approval：安全承認板）が貼付され（但し、貼付の猶予期限は1985年1月1日までとなっており、以後は貼付のないコンテナは流通不可能となる）、新造以後の最初の保守点検（検査）は5年目に、それ以外は2年（第2次改正により2年6ヶ月）毎の定期検査が課されることになっている。また現在のところ、すべてのコンテナは検査実施を1987年1月1日まで猶予されているため、それ以後完全実施となる運びである。

1983年初期の時点でコンテナへのCSCプレートの貼付に関しては邦船社の進捗率は推定約90%、リース会社のそれは推定約20%⁽¹⁰⁾となっており、これは船社が自社コンテナを自社船により日本にポジショニングできる有利性によるとのことであり、リース関係では日本海上コンテナ協会等の協力により外国での保守点検、プレート貼付について運輸省より承認を受け1983年5月より外国での実施もスタートしている⁽¹⁰⁾。

また定期検査以上に厳しい検査と計画保守管理システムにより運用されているコンテナについては、代用としての代替検査計画（Approved Continuous Examination Programmes：継続検査計画）が認められ、JACEPの文字を標示することができるとされているが、各流通経路でおこなうRoutine Operating InspectionとThorough Examinationが課されている。

つぎにジュネーブ保険経済研究国際協会のコンテナリゼーションに関する経済的諸危険の1988年までの予測報

告(1979年10月)⁽⁹⁾の予測とリスクマネジメント結果によると、1973年から1978年の世界の5年間の実績より、コンテナ保有数の年平均伸び率は17.3%、移動数は12.0%であり、年間航海回数は3.58回から2.84回へ下っている。また1978年を基準として1988年における予測値としては伸び率を6%から13%まで低・中・高の3通り発表しているが、年平均伸び率は6~7%の低い場合が確率が高いとのことで保有数448万TEU、移動数(実入、空の場合を含む)4470万TEU、年間航海回数2.5回としている。またコンテナ自体のリスクは4倍近く増加するものと予測しており、その主たる要因としてはコンテナ数量の増加(約2.5倍)、発展途上諸国への新設航路・未整備ターミナルに伴うリスク増(要修繕の事故発生頻度は14%増加し、臨港・奥地のターミナル荷役中ならびに保管中に全体の60%が発生する)、中古コンテナの増、CSC条約による修繕頻度の20%増加などを挙げられており、修繕コストも10%以上増加すると予測している。

日本での調査⁽⁶⁾ではコンテナ本体の事故発生の多い場所は臨港ターミナルでの荷役中が30%弱、航海中が30%強となっており、その主な原因はターミナルでのラフハンドリングおよび荒天による船体動揺他で50%強となっており、前述の予測報告ともほぼ一致している。

3. 保守点検システムのモデル化

流通している莫大な量のコンテナに対して定期的検査義務化を完全実施とするときは、コンテナ本来の貨物流通容器としての運用効率やターミナルの流通運営機能効率を阻害しないようにすることが必要となる。そのために従来のメンテナンスショップ(MS)能力の対応度が問題となり、必要に応じて保守および点検の能力の増強(設備、人員、許容蔵置スペースなどの能力およびコストの増加)対策も問題となってくる。

3.1 通常メンテナンス業務モデル

図1に複合方式(トランスレーナおよびストラドルキャリア)のコンテナターミナルのレイアウト例を示す。図2は複合方式ターミナルにおける搬出入実入空コンテナのターミナル内フローにおける従来方式の通常点検場所を示したものであり、ゲートイン、ゲートアウト、揚荷役および修理後の各時点で点検を実施しており、その場での簡単なシール・パッチ当てからMSでの修理、詰替までである。特に空コンテナのゲートインと陸揚後のときの点検および修理にウェイトを置いている。これらのフローをこのままモデル化し、4つのフロー(実入と空につき搬入と搬出)を同時に運用させ、ターミナルでの実態をもとに通常メンテナンス業務におけるMS機能の感度をみることにした。変数としてターミナル全体での実入・空の年間延取扱個数(20%減、現状、20%増)、修理時間(20%減、現状、20%増)および点検時の事故発生率(現状、20%増、40%増)の各3レベルを定め、これらの組合せ27ケースを設定した。

年間取扱個数の3レベルに連動して、つぎのような各レベル平均値をもつデータをサブルーチン化して分布発生(指数分布、三角形分布、一様分布などでおおよそその近似)させている。即ち、実入コンテナゲート搬入間隔

図1 複合方式コンテナターミナルのレイアウト例

① 搬入実入コンテナ

③ 搬出実入コンテナ

② 搬入空コンテナ

④ 搬出空コンテナ

図2 コンテナのターミナル内フローと点検場所（◇印）（資料(8)より）

図3 ターミナル内フローにおける点検時の事故発生率
(①:現状 ②:20%増 ③:40%増)

(平均値10.4, 8.4, 7.0分/ゲートでそれぞれ年間延取扱41800, 52200, 62700個相当), 実入コンテナゲート点検時間 (3.9, 3.5, 3.0分), 空コンテナゲート搬入間隔 (14.0, 11.2, 9.3分/ゲート), 空コンテナゲート点検時間 (4.5, 3.3, 3.0分), 実入コンテナ陸揚間隔 (12.4, 9.9, 8.2分), 空コンテナ陸揚間隔 (19.4, 17.8, 14.7分) などである。

また修理時間は最小30分より最大15時間 (およそ実働時間2日相当) の間でおおよその低次のアーラン分布近似 (平均値3.2, 4.0, 4.8時間) で与えている。

図3はターミナルフローにおける点検時の事故発生 (発見) 率であり, その場での簡単なシール・パッチ当て, MSでの修理および詰替の組合せウェイトを3レベル変化させ, また本船からの陸揚実入コンテナおよびゲートアウトの空コンテナについては早出を優先させ点検現場での簡単な仮手当で済ませるようにモデル化している。

3.2 CSC保守点検業務付加モデル

前述の通常メンテナンスモデルに更に付加するための定期的なCSC保守点検業務については, 現在のMS内検査試験場 (2チャンネル) を利用し, 年間取扱個数の3レベルに連動してつぎのようなレベル平均値をもつデータをサブルーチン化して分布発生 (指数分布, 三角形分布などでおおよその近似) させている。即ち, 法規制サイクルによる定期検査のためのCSC検査場到着間隔を最小75分より最大135分までの間に (平均値120, 96, 81分) で与え, これは到着個数の (平均値6.0, 7.5, 8.8個/日) に相当するものであり, 前提条件としては東京, 横浜, 大阪, 神戸の各ターミナルにCSC検査場を設定し, 法令に定めるサイクルでほぼ均等に分担するとした。

図4はCSC検査場に到着したコンテナが受検したときの要修理発生率 (3レベル) を示しており, これらはMSへまわされる。

なおCSC検査試験は一率に90分/個とし, 要修理の場合はMSで修理後に再検査60分を課すとした。また通常メンテナンスフローにおいてMSでの修理後にも検査60分を実施させた。

現状のMS屋外許容蔵置エリアは安全作業スペースを含めて約90スロットあり, MS修理チームは約10人が各人当平均3個の修理を分担し, MS蔵置エリア内でサイクリック修理サービスを提供しているため, 本モデルでは単純化して並列30チャンネルの修理窓口を設定した。またMS修理チーム規模の感度をみるために並列45および並列60チャンネルの3レベルも設定した (修理チーム, 設備規模の現状の1.5倍および2倍の増強)。そのほかに通常, MS内外では荷役機械の保守作業もおこなわれ, 特に損傷の大きいコンテナは内部で修理されている。

図4 CSC検査による要修理発生率
(①: 現状 ②: 20%増 ③: 40%増)

4. シミュレーション結果

通常メンテナンスモデルのメインプログラムはおおよそ250ステップ, サブルーチンプログラムは9個で約200ステップである。

CSC業務付加のメインプログラムは約300ステップ, サブルーチンプログラムは12個で約260ステップである。また一様擬似乱数ファンクションプログラムは D.H. Lehmer の乗算型合同式法 $X_{n+1} \equiv 23X_n \pmod{10^8+1}$ を利用した。

通常モデルの27ケース, CSC付加モデルの81ケースにつきシミュレーションクロックタイムは実時間3分を1単位として, 各ケースについて1ヶ月相当のシミュレーションをおこなった。電算機は東京商船大学電算室の MELCOM COSMO 500 を使用し, プログラムは FORTRAN によった。

図5 通常メンテナンスシミュレーション (30ch)

図6 通常メンテナンスシミュレーション (30ch)

図7 CSCシミュレーション(修理30ch)

図8 CSCシミュレーション(修理30ch)

図9 CSCシミュレーション(修理45ch)

図10 CSCシミュレーション(修理45ch)

図11 CSCシミュレーション(修理60ch)

図12 CSCシミュレーション(修理60ch)

出力としてとり出したものは、ゲート搬入実入コンテナ数、ゲート搬入実入パッチ当コンテナ数、実入搬入ゲート利用率、ゲート搬入空コンテナ数、ゲート搬入空パッチ当コンテナ数、空搬入ゲート利用率、本船陸揚実入コンテナ数、本船陸揚空コンテナ数、MS到着コンテナ数、MS修理完了コンテナ数、MS要修理コンテナ待ち行列数、同平均、MS要修理コンテナ待ち時間、同平均、MS修理窓口利用率、最終的にサウンドとしてマーシャリングされた実入コンテナ数および同空コンテナ数、CSC検査場到着コンテナ数、CSC検査場待ち行列数、同平均、CSC検査場利用率、検査場よりMSへまわされたコンテナ数などである。

感度分析のために利用する結果はMSにおける修理班窓口利用率、要修理コンテナの平均待ち行列数および平均待ち時間であり、通常モデルの結果を図5、6にまたCSC付加モデルの結果を図7～12に示す。

5. 考察

パラメトリックな変数との関係においてMSの機能の感度をみるために図5～12の結果を考察してみる。現状の安全作業スペースを含んだMS許容蔵置エリアが90スロットであることから、待ち行列数が50～70個（修理サービス中を含めて80～100個）でスロット限界に安定して変動するとき、その平均待ち行列数はおよそ20～30個であることから、平均待ち行列数30個を一応の限界値として設定した。

また現状の平均修理時間（サービス時間）が4時間（半日相当）であることから、平均待ち時間がサービス時間分相当（半日）を一応の限界値として設定した。

5.1 通常メンテナンス業務

現状ケースシミュレーション結果は発生コンテナ数はほぼ入力通りで、実入搬入ゲート利用率は0.49、空搬入ゲート利用率は0.30、MS待ち行列数の変動上限値は20個、MS平均待ち行列数4個、MS修理チーム利用率0.87である。

これらは現地調査をした値に略近く、モデルの妥当性は良いと言える。

図5および図6よりみて、ターミナル運営と、MSの機能が許容限界内で維持可能なのはターミナル全体の年間延取扱個数（以下取扱個数と言う）と事故率がともに現状の組合わせ3ケースと、取扱個数が20%減で事故率が現状と20%増の組合せ6ケースおよび修理時間が20%減の場合で現状取扱個数と事故率20%増の組合せ1ケースと取扱個数20%増と事故率現状の組合せ1ケースの計11ケースである。

図からもわかるように今回のようなレベル設定においては変動影響の大きいものは順に事故率、延取扱個数、修理時間である。

各レベル値の設定自体は前述の報告⁽⁵⁾などから想定したものであり、その感度がむしろ大切である。現状での取扱個数が莫大であるだけに事故率の僅かな増減も要修理コンテナ数の変動を大きくしており、MSへの到着数を増加させ、利用率、待ち行列を大きくしターミナル内の他の蔵置エリアを10~750個分侵食し、平均で1~15日の不経済な滞留を発生させることになる。結局は今後の取扱個数の伸び率を是とするならば極力、事故発生率を低くおさえるようなコンテナシステムの管理運営対策が必要であり、同時に修理機能の向上（修理蔵置スペースの新增設、修理チーム・設備の増強などの資源投入）も必要となる。

5.2 CSC保守点検業務付加

図7~12よりみてCSC検査業務完全実施の場合を想定すると、ターミナル運営上メンテナンス機能が許容限界内でコンテナ容器の流通を阻害することなく維持されるのは、MS修理30チャンネルの場合は修理時間が20%減で取扱個数と事故率が現状の組合せ1ケースおよび修理時間に関係なく取扱個数が20%減で事故率が現状の組合せ3ケースの計4ケースのみである。前述の通常メンテナンス業務の許容内運営可能な場合に比べて7ケース（取扱個数20%増、事故率20%増を含んだもの）が運営限界外となった。前述と同様にレベル変動の感度影響の大きい順に事故率、延取扱個数、修理時間である。

通常業務にCSC業務を完全に付加した現状シミュレーションケースの結果をみると、CSC検査場の利用率、待ち行列はともに1日当ノルマ量を安全にクリアーできているが、MSは利用率0.99、平均待ち行列96個、平均待ち時間6日であり、MS修理作業は機能が完全に不足した結果となっている。ターミナル内の他の蔵置スペースを侵食し、平均で6日の不経済滞留を発生させMSの修理機能が限界であることが予測される。限界外のケースでは他の蔵置スペースを10~900個分侵食し、平均1~21日の不経済滞留を発生させる。

シミュレーション内変数に限って言えば現状からの改善策は修理時間を20%減（修理設備の増強など）とするかもしくは取扱個数20%減とすることである。

つぎにMS修理45チャンネル（現状の1.5倍に修理チーム設備を増設）の場合はターミナル運営が限界内で維持されるのは計13ケースに増える。年間取扱個数が現状のときは事故率が20%増でも修理時間を20%減とすれば対応でき、また取扱個数が20%増でも事故率が現状のままであれば修理時間が現状より増えないかぎり対応できる。取扱個数が20%減となったときは修理時間が20%増となっても事故率20%増までは対応でき、また修理時間が20%短くなれば事故率40%増となったときも対応できそうである。これら以外の14ケースではターミナルの他の蔵置エリアを10~650個分侵食し、平均1~10日の不経済滞留を発生させる。

最後にMS修理60チャンネル（現状の2倍に増強）の場合は、22のケースがCSC業務に対応できることになる。取扱個数が現状であっても修理時間が現状より短くならなければ事故率40%増の2ケースの場合は対応できない。また取扱個数が20%増で事故率40%増の3ケースの場合は修理時間に関係なく対応できない。これらの対応不能ケースの場合はターミナル内の他の蔵置エリアを10~380個分侵食し平均1~5日の不経済滞留を発生させる。

6. 結 論

シミュレーションに設定した変数とそのレベルの関係においてつぎのことがいえる。

- (1) 通常メンテナンス業務のみを考慮すれば、取扱個数の20%増、修理時間の20%増および事故率の20%増のいずれか一つでも発生した場合は、MSまわりに滞留が発生するため対策を構ずる必要がある。
- (2) 3つのパラメータの中でMSに与える影響の大きい順に事故率、取扱個数、修理時間である。事故率は取扱個数の莫大な量によって要修理への入力数を増加させる。
- (3) 対策としては修理時間を短縮したりMS修理チーム・設備を増加したり、MS蔵置エリアを更に増設することである。理論上はどちらか一つの同程度の改善ならば、修理サービス時間の短縮（修理能力の向上で例えば更に機械化、自動化など）の方が、現状能力の修理チーム数の増設よりも、全体スペース、全体流動時間よりみて有利であるが、このことについては対策としての資源投入の可能性を検討する必要がある。
- (4) 現状のターミナル運営のままでCSC条約による検査業務を付加開始することは、運営にかなりの混乱が予想され避けた方がよい。
- (5) MSのコンテナ修理チーム数を現状の1.5倍にすればCSC業務が完全実施となっても、流通コンテナの状態に大きな変化（特に事故率20、40%増、取扱個数20%増）がなければ対応できる。
- (6) 取扱個数が現状以上で事故率が40%増のような複合条件においては、MSの修理チーム数を現状の2倍にしても対応はできない。
- (7) 法規制サイクルによるコンテナのCSC検査個数に対しては、検査場2チャンネルで対応できる。
- (8) 今後しばらく増加すると予測される全体コンテナ数および中古コンテナ数そして発展途上諸国への新設航路、未整備ターミナルなどに伴うコンテナリスク増を考慮すると、事故率の増加をおさえることが肝要である。
ターミナル荷役中のより安全なハンドリングの徹底に努力し、航海、陸送中の安全管理に務め、事故の頻度を低くして要修理発生数をおさえると同時に、大きな事故の発生を防止し、その結果として修理時間を小さくしてやる効果もよい方策と思われる。また安全確保のうちの合理的な法規制検査サイクルの延長も有効であろう。
- (9) コンテナのER情報などより、ステータス管理や修繕頻度、修繕費の分析を細やかに行い、最適運営個数規模計画と共に最適取替計画の検討も必要である。
最後に本研究の実施にあたりターミナル調査の面で東京国際コンテナターミナルKKに御協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) Containerisation International 誌（1983年8月号）：第3回世界コンテナ調査報告，海運調査月報第373号，pp. 17，商船三井，1983年9月。
- (2) 同上：同上，港湾荷役29—1，pp. 144，港湾荷役機械化協会，1984年1月。
- (3) 日本郵船調査室：世界のコンテナ船隊および就航状況1983年版，同社，1983。
- (4) 商船三井広報委員会：物流システム講座，同社，1983。
- (5) 加藤 修：コンテナリゼーションに関するリスクマネジメント（その1，その2），海事産業研究所報 No. 170，172，1980.8，10。
- (6) 日本海事検定協会：コンテナの損傷原因別分類および考察について，同協会，1971，1972，1973。
- (7) 日本海上コンテナ協会：国際大型コンテナの保守点検に関連する調査報告，同協会，1974。
- (8) 西山安武他：海上コンテナの保守管理に関する実態の調査研究，日本舶用品検定協会，昭53。
- (9) 日本海上コンテナ協会：コンテナの保守管理基準(案)，同協会，昭54。
- (10) 和智秀清：外国でのCSCプレート貼付の実施回想録，コンテナリゼーションNo. 159，日本海上コンテナ協会，1983.10。
- (11) 園田敏彦：CSC条約の一部改正に伴う国内法令の整備について，コンテナリゼーションNo. 163，日本海上コンテナ協会，1984.2。
- (12) 運輸省：現行海事法令集，海文堂。

質 疑 応 答

奥山育英（港湾技術研究所）：

この種のシミュレーションは要修理コンテナのメンテナンスショップへの到着分布, コンテナ修理時間分布, 修理チャンネル数を与えると, 多くの場合理論的に解けますが, 今回のシミュレーションへ入力したこれらの具体的数値, 分布型について御説明願います。

山田猛敏: 御討論ありがとうございます。

今回のシミュレーションのための実態調査は現実の企業が対象であることと時間的制約のために, 理論解析に使うために分布の適合度検定が充分にできる程度の詳細な資料はとっていませんがおおよその傾向は出ています。

MS到着分布はゲートイン時(実入, 空)の点検(ゲートへの到着は現状はおおよその指数分布であり, レベル変動は三角形分布で近似)の結果, 要修理事故率によりMSへふり向けるモデルとしていますので, 直接MS到着分布は使用していません。修理時間分布は現実には低次のおおよそのアーラン分布であり, レベル変動も同様にしています。またMS修理チームは並列30, 45および60チャンネルとしました。なお, 数値の平均や変動幅については本文のモデル化を御参考にして下さい。