

無償保証期間を伴う発注政策に関する一考察

海 生 直 人

(受付 2021 年 4 月 2 日)

あ ら ま し

本稿では発注モデルに故障に対する無償保証期間を考慮した拡張モデルを議論する。評価関数としては定常状態における単位時間当りの期待費用を適用し、その期待費用を最小にする最適発注政策を求める。無償保証期間を考えることは期待費用を減少させるだけでなく、最適発注時刻を無償保証期間に近づける。

キーワード 無償保証期間, 発注政策, 定常状態における単位時間当りの期待費用, 最適政策

1. は じ め に

信頼性理論において、最も重要で有用な分野の1つに保全政策がある。特に、年令取換え政策およびブロック取換え政策がよく知られている (Barlow and Proschan [1], 海生 [2], Osaki [3] 参照)。これら2つの政策においては手元に無限個のスペアが在り、必要なときにはいつでもスペアがすぐに供給されると仮定される。しかしながら、実際には手元にスペアが常に存在するとは限らないので、スペアの発注とその納入の間にはある種の時間的な遅れが存在し得る。この種の遅れはリードタイムと呼ばれる。このような状況においては、リードタイムを考慮した保全政策を考えねばならない。このリードタイムを考慮した保全政策を発注政策と呼ぶ (海生 [2], Osaki [3], 海生, 尾崎 [4], Osaki, Kaio and Yamada [5] 参照)。

本稿ではスペアが納入されると動作ユニットはその状態にかかわらず直ちにスペアと取換えあるいは交換される発注モデルに製品 (ユニット) の無償保証期間 [6, 7] を考慮した発注政策を議論する。最初に無償保証期間を考慮しない基本発注政策を考察する。次に無償保証期間を付加して当発注政策を議論する。無償保証期間と (通常) 発注時刻の大小関係においてそれぞれの状況下での政策を考察し、総合的な発注政策を議論する。基本発注政策との比較も行う。最終的には発注時刻が非負の場合だけでなく、負の発注時刻を伴う発注政策を議論する。評価関数としては定常状態における単位時間当りの期待費用を適用し、その期待費用を最小にする最適発注政策を議論する。無償保証期間を考えることは期待費用を減少さ

せるだけでなく、最適発注時刻を無償保証期間に近づける。

以下の諸量を導入する。

- 1) k_f 単位時間当りの品切れ費用
 c_r 1回当りの通常発注費用
 c_q 1回当りの緊急発注費用, $c_q = c_r + c_d$
 c_d 1回当りの緊急発注のための緊急対策費用。この費用は保証期間内の緊急発注に対しても発生する。
- 2) L_r 通常リードタイム
 L_q 緊急リードタイム
 w 無償保証期間
- 3) $\bar{\psi}(\cdot)1 - \psi(\cdot)$, $\psi(\cdot)$ は任意の関数
 $f(t)$ ユニットの寿命時間の確率密度関数
 $F(t)$ 同累積分布関数
 $\bar{F}(t)$ 同信頼度関数
 $1/\lambda$ 有限な期待寿命時間
 $r(t) = f(t)/\bar{F}(t)$ ユニットの (瞬間) 故障率
 $R(t) = [F(t+L_r) - F(t)]/\bar{F}(t)$ ユニットの (平均) 故障率
- 4) $t_i, i=0, 1, 2$ 通常発注時刻
 $i=0$: $w=0$ のとき
 $i=1$: $0 < w \leq t_1$ のとき
 $i=2$: $0 \leq t_2 < w$ のとき
 $C_i(t_i)$ 定常状態における単位時間当りの期待費用

以下を仮定する。 $L_q \leq L_r$, $c_q + k_f L_q > 2c_r + k_f L_r$, そして故障率 $r(t)$ および $R(t)$ は微分可能である。

次に示す補題は以下で重要な役割を果たす (Barlow and Proschan [1, p. 23] 参照)。

[補題1]

$[0, \infty)$ における t に関して故障率 $r(t)$ と $R(t)$ は同じ単調属性を持つ。□

2. 発注時刻が非負の発注政策

2.1 無償保証期間を伴わない発注政策

最初に無償保証期間を伴わない, すなわち $w=0$ の場合の基本的な発注政策を既存の結果よりまとめる [4]。

モデルは以下のものである。システムとしては1ユニットシステムを考え、スペアは発注によってのみ納入される。故障は直ちに発見され故障ユニットは修理されずにスクラップされる。動作ユニットは時刻0で動作を始める。計画期間は無限大である。ある前もって定められた発注時刻 $t_0 \in [0, \infty)$ まで動作ユニットが故障しないならば、スペアは時刻 t_0 で通常発注される。そして通常リードタイム L_r の後スペアは納入され、動作ユニットの状態にかかわらず直ちに取換えあるいは交換される。一方、時刻 t_0 までに動作ユニットが故障したならば、故障時点で直ちに緊急発注がなされ、緊急リードタイム L_q の後スペアが納入され、それは直ちに動作を始める。この場合、通常発注はなされない。ここで、取換えおよび交換は瞬時になされ、取換えおよび交換後ユニットは直ちに動作を始めるとする。以後、同様なサイクルを繰り返す。

特に、時刻 t_0 までになされる緊急発注費用 c_q および時刻 t_0 における通常発注費用 c_r が発生する。

以上のモデルにおいて動作ユニットの取換えあるいは交換から次の取換えあるいは交換までを1サイクルとしその1サイクルを考える。そして定常状態における単位時間当りの期待費用を導出しそれを最小にすべく最適発注政策を求める。

定常状態における単位時間当りの期待費用は

$$C_0(t_0) = \frac{c_q F(t_0) + c_r \bar{F}(t_0) + k_f \left\{ (L_q - L_r) F(t_0) + \int_{t_0}^{t_0 + L_r} F(t) dt \right\}}{(L_q - L_r) F(t_0) + L_r + \int_0^{t_0} \bar{F}(t) dt} \quad (2.1)$$

となり、

$$C_0(\infty) = \frac{c_q + k_f L_q}{L_q + 1/\lambda}, \quad (2.2)$$

$$C_0(0) = \frac{c_r + k_f \int_0^{L_r} F(t) dt}{L_r} \quad (2.3)$$

である。次式を定義する。

$$\begin{aligned} q_0(t_0) = & \left[k_f R(t_0) + \left\{ k_f (L_q - L_r) + (c_q - c_r) \right\} r(t_0) \right] \\ & \times \left[(L_q - L_r) F(t_0) + L_r + \int_0^{t_0} \bar{F}(t) dt \right] \\ & - \left[c_q F(t_0) + c_r \bar{F}(t_0) + k_f \left\{ (L_q - L_r) F(t_0) + \int_{t_0}^{t_0 + L_r} F(t) dt \right\} \right] \\ & \times \left[(L_q - L_r) r(t_0) + 1 \right]. \end{aligned} \quad (2.4)$$

そのとき、期待費用 $C_0(t_0)$ を最小にする最適発注時刻 t_0^* に対して以下の定理を得る。

[定理2.1]

(1) 故障率が狭義単調増加であるとき次のことが成立する。

(i) もし $q_0(0) < 0$ で $q_0(\infty) > 0$ ならば, $q_0(t_0) = 0$ を満足する, 期待費用 $C_0(t_0)$ を最小にする有限でただ 1 つの最適発注時刻 t_0^* ($0 < t_0^* < \infty$) が存在し, 期待費用は

$$C_0(t_0^*) = \frac{k_f R(t_0^*) + \{k_f(L_q - L_r) + (c_q - c_r)\}r(t_0^*)}{(L_q - L_r)r(t_0^*) + 1} \quad (2.5)$$

となる。

(ii) もし $q_0(\infty) \leq 0$ ならば, $t_0^* \rightarrow \infty$ となる。すなわち, スペアの発注は動作ユニットの故障の直後になされる。期待費用は式 (2.2) となる。

(iii) もし $q_0(0) \geq 0$ ならば, $t_0^* = 0$ となる。すなわち, スペアの発注は動作ユニットの動作開始と同時になされる。期待費用は式 (2.3) となる。

(2) 故障率が広義単調減少であるとき次のことが成立する。

(i) もし $C_0(0) \geq C_0(\infty)$ ならば, $t_0^* \rightarrow \infty$ となる。

(ii) もし $C_0(0) < C_0(\infty)$ ならば, $t_0^* = 0$ となる。□

2.2 無償保証期間を伴う発注政策

第2.1節では無償保証期間を伴わない ($w=0$) 基本的発注政策を取扱ったが, 本節では無償保証期間を伴う場合を取扱う。無償保証期間内でのユニットの故障に対する緊急発注に関しては通常の購入費用としての c_r (通常発注費用) は免除され, 緊急発注のための緊急対策費用 c_d のみが発生する。以下においては無償保証期間と通常発注時刻の大小関係においてそれぞれの状況下での最適政策を考察し, その結果に基づき大域的な最適発注政策を議論する。

2.2.1 無償保証期間が通常発注時刻以下の場合

$0 < w \leq t_1$ の場合を取扱う。

定常状態における単位時間当りの期待費用は

$$C_1(t_1) = \frac{c_d F(t_1) + c_r \bar{F}(w) + k_f \left\{ (L_q - L_r) F(t_1) + \int_{t_1}^{t_1 + L_r} F(t) dt \right\}}{(L_q - L_r) F(t_1) + L_r + \int_0^{t_1} \bar{F}(t) dt} \quad (2.6)$$

となり,

$$C_1(\infty) = \frac{c_d F(w) + c_q \bar{F}(w) + k_f L_q}{L_q + 1/\lambda} \quad (2.7)$$

となる。次式を定義する。

$$\begin{aligned}
 q_1(t_1) = & \left[k_f R(t_1) + \{k_f(L_q - L_r) + c_d\} r(t_1) \right] \\
 & \times \left[(L_q - L_r) F(t_1) + L_r + \int_0^{t_1} \bar{F}(t) dt \right] \\
 & - \left[c_d F(t_1) + c_r \bar{F}(w) + k_f \left\{ (L_q - L_r) F(t_1) + \int_{t_1}^{t_1+L_r} F(t) dt \right\} \right] \\
 & \times \left[(L_q - L_r) r(t_1) + 1 \right].
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

このとき、期待費用 $C_1(t_1)$ を最小にする最適発注時刻 t_1^* に対して以下の補題を得る。

[補題2.2]

$0 < w \leq t_1$ において以下が成立する。

(1) 故障率が狭義単調増加であるとき次のことが成立する。

(i) もし $q_1(w) < 0$ で $q_1(\infty) > 0$ ならば、 $q_1(t_1) = 0$ を満足する、期待費用 $C_1(t_1)$ を最小にする有限でただ1つの最適発注時刻 t_1^* ($w < t_1^* < \infty$) が存在し、期待費用は

$$C_1(t_1^*) = \frac{k_f R(t_1^*) + \{k_f(L_q - L_r) + c_d\} r(t_1^*)}{(L_q - L_r) r(t_1^*) + 1} \tag{2.9}$$

となる。

(ii) もし $q_1(\infty) \leq 0$ ならば、 $t_1^* \rightarrow \infty$ となる。期待費用は式 (2.7) となる。

(iii) もし $q_1(w) \geq 0$ ならば、 $t_1^* = w$ となる。

(2) 故障率が広義単調減少であるとき次のことが成立する。

(i) もし $C_1(w) \geq C_1(\infty)$ ならば、 $t_1^* \rightarrow \infty$ となる。

(ii) もし $C_1(w) < C_1(\infty)$ ならば、 $t_1^* = w$ となる。□

2.2.2 無償保証期間が通常発注時刻より大きい場合

$0 \leq t_2 < w$ の場合を取扱う。

定常状態における単位時間当りの期待費用は

$$C_2(t_2) = \frac{c_d F(t_2) + c_r \bar{F}(t_2) + k_f \left\{ (L_q - L_r) F(t_2) + \int_{t_2}^{t_2+L_r} F(t) dt \right\}}{(L_q - L_r) F(t_2) + L_r + \int_0^{t_2} \bar{F}(t) dt} \tag{2.10}$$

となり、

$$C_2(0) = \frac{c_r + k_f \int_0^{L_r} F(t) dt}{L_r} = C_0(0) \tag{2.11}$$

となる。次式を定義する。

$$\begin{aligned}
 q_2(t_2) = & \left[k_f R(t_2) + \{k_f(L_q - L_r) + (c_d - c_r)\} r(t_2) \right] \\
 & \times \left[(L_q - L_r) F(t_2) + L_r + \int_0^{t_2} \bar{F}(t) dt \right] \\
 & - \left[c_d F(t_2) + c_r \bar{F}(t_2) + k_f \left\{ (L_q - L_r) F(t_2) + \int_{t_2}^{t_2+L_r} F(t) dt \right\} \right] \\
 & \times \left[(L_q - L_r) r(t_2) + 1 \right].
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

このとき、期待費用 $C_2(t_2)$ を最小にする最適発注時刻 t_2^* に対して以下の補題を得る。

[補題2.3]

$0 \leq t_2 < w$ において以下が成立する。

(1) 故障率が狭義単調増加であるとき次のことが成立する。

(i) もし $q_2(0) < 0$ で $q_2(w) > 0$ ならば、 $q_2(t_2) = 0$ を満足する、期待費用 $C_2(t_2)$ を最小にするただ1つの最適発注時刻 t_2^* ($0 < t_2^* < w$) が存在し、期待費用は

$$C_2(t_2^*) = \frac{k_f R(t_2^*) + \{k_f(L_q - L_r) + (c_d - c_r)\} r(t_2^*)}{(L_q - L_r) r(t_2^*) + 1} \tag{2.13}$$

となる。

(ii) もし $q_2(w) \leq 0$ ならば、 $t_2^* \rightarrow w$ となる。

(iii) もし $q_2(0) \geq 0$ ならば、 $t_2^* = 0$ となる。期待費用は式 (2.11) となる。

(2) 故障率が広義単調減少であるとき次のことが成立する。

(i) もし $C_2(0) \geq C_2(w)$ ならば、 $t_2^* \rightarrow w$ となる。

(ii) もし $C_2(0) < C_2(w)$ ならば、 $t_2^* = 0$ となる。□

2.3 大域的最適発注時刻

前もって無償保証期間と通常発注時刻の大小関係を知ることはできない。本節では補題2.2 および2.3から大域的最適発注時刻 t_w^* について議論する。その際 $q_0(w)$ が $w \leq t_w^* = t_1^*$ か $t_w^* = t_2^* < w$ を決定するのに重要な役割を演じる。

[定理2.4]

無償保証期間を w としたとき以下が成立する。

(1) 故障率が狭義単調増加であるとき次のことが成立する。

(i) もし $q_0(w) < c_r F(w) [(L_r - L_q) r(w) - 1]$ ならば、 $w < t_w^* = t_1^*$ となる。

(ii) もし $c_r F(w) [(L_r - L_q) r(w) - 1] \leq q_0(w) \leq c_r [r(w)(L_r + \int_0^w \bar{F}(t) dt) - F(w)]$ ならば、 $t_w^* = w$ となる。

- (iii) もし $q_0(w) > c_r[r(w)(L_r + \int_0^w \bar{F}(t)dt) - F(w)]$ ならば, $t_w^* = t_2^* < w$ となる。
- (2) 故障率が広義単調減少であるとき次のことが成立する。
 - (i) もし $C_1(w) = C_2(w) \geq C_1(\infty)$ ならば, $t_w^* = t_1^* \rightarrow \infty$ となる。
 - (ii) もし $C_1(w) = C_2(w) < C_1(\infty)$ ならば, $t_w^* = t_1^* = w$ となる。
 - (iii) もし $C_2(0) \geq C_1(w) = C_2(w)$ ならば, $t_w^* = t_2^* \rightarrow w$ となる。
 - (iv) もし $C_2(0) < C_1(w) = C_2(w)$ ならば, $t_w^* = t_2^* = 0$ となる。□

3. 負の発注時刻を伴う発注政策

前節においては動作ユニットの動作開始以後初めてスペアの発注が行われた。それ故、通常発注時刻 t_i ($i=0, 1, 2$) は非負となっている。しかしながら、ユニットの動作開始時点、すなわち時刻 0 を明確に定めておきさえすれば負の発注時刻 t_i ($i=0, 2$) を考えることも許される。すなわち、 $(-L_r, 0)$ における t_i ($i=0, 2$) においてスペアを通常発注するならば、時間 $-t_i$ 経過後に動作ユニットが動作を開始し、時刻 $t_i + L_r$ にスペアが納入される。この場合、必ず動作ユニットの故障に先がけて発注を行うのであるから、発注としては通常発注だけである。また、無償保証期間が通常発注時刻以下の場合においては $-L_r < t_1 < 0$ の場合は有り得ない。 $0 < w \leq t_1$ の場合だけが考察対象となる。

本節においては上記の意味での負の発注時刻を前節のモデルに考慮し議論する。すなわち、通常発注時刻 t_0 は $(-L_r, \infty)$ の範囲を、 t_2 は $(-L_r, w)$ の範囲を動く。また、明らかに負の t_i ($i=0, 2$) に対しては $F(t_i) = 0$ 、そして $\bar{F}(t_i) = 1$ である。その場合、式 (2.1) における期待費用 $C_0(t_0)$ は $(-L_r, \infty)$ における t_0 に対してもなお、また式 (2.10) における期待費用 $C_2(t_2)$ は $(-L_r, w)$ における t_2 に対してもなお且つ成り立つ。

以下に負の発注時刻を伴う場合の定理2.1および補題2.3の拡張された結果を与える。

[定理3.1] (文献 [4] 参照)

無償保証期間を伴わない、すなわち $w=0$ の場合において以下が成立する。

- (1) 故障率 $r(t)$ が $(0 \leq t)$ に関して狭義単調増加であるとき次のことが成立する。
 - (i) もし $q_0(\infty) > 0$ ならば, $q_0(t_0) = 0$ を満足する有限でただ1つの最適発注時刻 t_0^* ($-L_r < t_0^* < \infty$) が存在し、期待費用は

$$C_0(t_0^*) = \frac{k_f R(t_0^*) + \{k_f(L_q - L_r) + (c_q - c_r)\}r(t_0^*)}{(L_q - L_r)r(t_0^*) + 1} \quad (3.1)$$

となる。

- (ii) もし $q_0(\infty) \leq 0$ ならば, $t_0^* \rightarrow \infty$ となる。

(2) 故障率 $r(t)$ が $(0 \leq t)$ に関して広義単調減少であるとき次のことが成立する。

(i) もし $q_0(0) > 0$ ならば, $q_0(t_0) = 0$ を満足する負値でただ 1 つの解 $u_0(-L_r < u_0 < 0)$ が存在し;

(a) $q_0(\infty) \geq 0$ ならば, $t_0^* = u_0$ となり, 期待費用は

$$C_0(t_0^*) = k_f F(u_0 + L_r) \quad (3.2)$$

となる。

(b) $q_0(\infty) < 0$ ならば, $C_0(u_0) < C_0(\infty)$ のとき, $t_0^* = u_0$ となり, $C_0(u_0) \geq C_0(\infty)$ のとき, $t_0^* \rightarrow \infty$ となる。

(ii) もし $q_0(0) \leq 0$ ならば, $t_0^* \rightarrow \infty$ となる。□

[補題3.2]

$-L_r < t_2 < w$ において以下が成立する。

(1) 故障率 $r(t)$ が $(0 \leq t)$ に関して狭義単調増加であるとき次のことが成立する。

(i) もし $q_2(w) > 0$ ならば, $q_2(t_2) = 0$ を満足するただ 1 つの最適発注時刻 $t_2^*(-L_r < t_2^* < w)$ が存在し, 期待費用は

$$C_2(t_2^*) = \frac{k_f R(t_2^*) + \{k_f(L_q - L_r) + (c_d - c_r)\}r(t_2^*)}{(L_q - L_r)r(t_2^*) + 1} \quad (3.3)$$

となる。

(ii) もし $q_2(w) \leq 0$ ならば, $t_2^* \rightarrow w$ となる。

(2) 故障率 $r(t)$ が $(0 \leq t)$ に関して広義単調減少であるとき次のことが成立する。

(i) もし $q_2(0) > 0$ ならば, $q_2(t_2) = 0$ を満足する負値でただ 1 つの解 $u_2(-L_r < u_2 < 0)$ が存在し;

(a) $q_2(w) \geq 0$ ならば, $t_2^* = u_2$ となり, 期待費用は

$$C_2(t_2^*) = k_f F(u_2 + L_r) \quad (3.4)$$

となる。

(b) $q_2(w) < 0$ ならば, $C_2(u_2) < C_2(w)$ のとき, $t_2^* = u_2$ となり, $C_2(u_2) \geq C_2(w)$ のとき, $t_2^* \rightarrow w$ となる。

(ii) もし $q_2(0) \leq 0$ ならば, $t_2^* \rightarrow w$ となる。□

4. 総合的大域的最適発注時刻

本節では補題2.2および3.2より、総合的に大域的最適発注時刻 t_w^* について議論する。

[定理4]

無償保証期間を w としたとき以下が成立する。

- (1) 故障率 $r(t)$ が $(0 \leq t)$ に関して狭義単調増加であるとき次のことが成立する。
 - (i) もし $q_0(w) < c_r F(w)[(L_r - L_q)r(w) - 1]$ ならば、 $w < t_w^* = t_1^*$ となる。
 - (ii) もし $c_r F(w)[(L_r - L_q)r(w) - 1] \leq q_0(w) \leq c_r [r(w)(L_r + \int_0^w \bar{F}(t)dt) - F(w)]$ ならば、 $t_w^* = w$ となる。
 - (iii) もし $q_0(w) > c_r [r(w)(L_r + \int_0^w \bar{F}(t)dt) - F(w)]$ ならば、 $t_w^* = t_2^* < w$ となる。
- (2) 故障率 $r(t)$ が $(0 \leq t)$ に関して広義単調減少であるとき次のことが成立する。
 - (i) もし $C_1(w) = C_2(w) \geq C_1(\infty)$ ならば、 $t_w^* = t_1^* \rightarrow \infty$ となる。
 - (ii) もし $C_1(w) = C_2(w) < C_1(\infty)$ ならば、 $t_w^* = t_1^* = w$ となる。
 - (iii) もし $q_0(w) \geq c_r [r(w)(L_r + \int_0^w \bar{F}(t)dt) - F(w)]$ ならば、 $t_w^* = t_2^* = u_2$ となる。
 - (iv) もし $q_0(w) < c_r [r(w)(L_r + \int_0^w \bar{F}(t)dt) - F(w)]$ ならば、 $C_2(u_2) < C_1(w) = C_2(w)$ のとき、 $t_w^* = t_2^* = u_2$ となり、 $C_2(u_2) \geq C_1(w) = C_2(w)$ のとき、 $t_w^* = t_2^* \rightarrow w$ となる。□

5. 考 察

無償保証期間を製品に付与することは定常状態における単位時間当りの期待費用を減少させるのみでなく、最適発注時刻を無償保証期間に近づける。換言すれば、 t_0^* が w より大きいときには無償保証は最適発注時刻を短くし w に近づける。逆に t_0^* が w より小さいときには無償保証は最適発注時刻を長くし w に近づける。

6. む す び

本稿ではスペアが納入されると動作ユニットはその状態にかかわらず直ちにスペアと交換えあるいは交換される発注モデルに製品の無償保証期間を考慮した発注政策を議論した。発注時刻が非負の場合だけでなく、負の発注時刻をも伴う発注政策を考察した。評価関数としては定常状態における単位時間当りの期待費用を適用し、その期待費用を最小にする最適発注政策を議論した。無償保証期間を考えることは期待費用を減少させるだけでなく、最適発注時刻を無償保証期間に近づける。

通常および緊急リードタイムを 0 とすると ($L_r = L_q = 0$)、本稿で取扱った発注モデルは無償保証期間を伴う年齢取換えモデルとなる (Yeh et al. [8] 参照)。但し、Yeh et al. [8] においては故障率が広義単調減少する場合は取扱われていない。

文 献

- [1] R. E. Barlow and F. Proschan, "Mathematical Theory of Reliability," John Wiley, New York, 1965.
- [2] 海生直人, "確率的保全問題に関する研究," 広島修道大学総合研究所 (広島修道大学研究叢書第52号), 1989.
- [3] S. Osaki, "Applied Stochastic System Modeling," Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1992.
- [4] 海生直人, 尾崎俊治, "拡張された最適発注政策," 電子通信学会論文誌, **J62-A** (6), 1979, 6月, pp. 373–380.
- [5] S. Osaki, N. Kaio and S. Yamada, "A Summary of Optimal Ordering Policies," *IEEE Transactions on Reliability*, **R-30**(3), 1981, Aug., pp. 272–277.
- [6] W. R. Blischke and D. N. P. Murthy, "Warranty Cost Analysis," Marcel Dekker, New York, 1994.
- [7] W. R. Blischke and D. N. P. Murthy, "Product Warranty Handbook," Marcel Dekker, New York, 1996.
- [8] R. H. Yeh, G.-C. Chen and M.-Y. Chen, "Optimal Age-Replacement Policy for Nonrepairable Products Under Renewing Free-Replacement Warranty," *IEEE Transactions on Reliability*, **54** (1), 2005, Mar., pp. 92–97.

Abstract

A Note on Ordering Policies Taking Account of Free Warranty Period

Naoto Kaio

In this paper, we discuss the extended ordering model taking account of free warranty period. We adopt the expected cost per unit time in the steady state as a criterion of optimality and seek the optimal policy minimizing that expected cost. When we apply the free warranty period, the expected cost decreases and furthermore the optimal ordering time goes closer to the free warranty period.

Keywords: Free warranty period, Ordering policy, Expected cost per unit time in the steady state, Optimal policy