

ロールバックリカバリの失敗および M/M/1 型 トランザクションを考慮したチェック ポイント政策に関する一考察

海生 直人・坂口 通則

(受付 1997 年 10 月 8 日)

あ ら ま し

本稿ではコンピュータシステム障害が発生した場合の回復処置であるロールバックリカバリが失敗する場合を考慮したチェックポイントモデルにおいて、成功確率を一定と仮定した場合を示し、さらに M/M/1 型トランザクションを仮定した場合の確率的挙動および定常アベイラビリティを最大にする最適政策を議論する。

1. は じ め に

コンピュータシステムに支えられている現代社会においてコンピュータ障害によるシステムダウンは非常に大きな悪影響を社会生活に及ぼす。そのため障害復帰のための方策が種々考案され議論されている。その方策の 1 つにファイル回復のためのチェックポイント方策がある¹⁾。これはシステム障害が発生し主記憶装置の情報が消滅したとき、トランザクションを最初からやり直すのではなく補助記憶装置に存在する直前のチェックポイントと呼ばれるある前もって定められた時点において記憶された情報および直前のチェックポイントからの監査証跡を使用してシステム障害直前の状態に復帰（ロールバックリカバリ）する方策である。ここで問題となるのはチェックポイント生成時点の決定であり、これに関して解析的に研究がなされている¹⁻¹²⁾。

本稿では最初に基本となるチェックポイントモデルである、ロールバックリカバリ成功確率を一定と仮定した場合の Fukumoto et al.¹²⁾ によるモデルおよびその定常アベイラビリティを最大にする最適政策を示す。次に、その基本チェックポイントモデルに M/M/1 型トランザクションを考慮し、その確率的挙動および最適政策を議論する。

2. 基本チェックポイント政策

本章では基本となるチェックポイントモデルである、ロールバックリカバリ成功確率を一定と仮定した場合の Fukumoto et al.¹²⁾ によるモデルおよびその最適政策を記述する。

2.1 基本モデルと仮定¹²⁾

システムの挙動に対して時刻 t における以下の状態 $I(t)$ を定義する：

$$I(t) = \begin{cases} 0 & \text{チェックポイント生成中,} \\ 1 & \text{通常に動作中,} \\ 2 & \text{ロールバックリカバリ中,} \end{cases}$$

ここで $I(0)=1$ と仮定する.

さらに以下の諸量を導入する:

- 1) S : ロールバックリカバリに対する処理時間を含まないチェックポイント生成間隔,
 $G(x)$: 累積分布関数,
 $g(x)$: 確率密度関数,
 $\eta(x)$: 状態 1 から状態 0 への推移率.
- 2) $X(t)$: 通常動作の開始時点から時刻 t までの, ロールバックリカバリに対する処理時間を含まない累積通常動作時間.
- 3) $r(x)$: $X(t)=x$ におけるシステムの故障率, すなわち状態 1 から状態 2 への推移率, あるいは非定常ポアソン過程の強度関数.
- 4) V_x : $X(t)=x$ でシステム障害が発生したときの 1 回当たりのロールバックリカバリ処理時間,
 $B_x(y)$: 累積分布関数,
 $b_x(y)$: 確率密度関数,
 $\zeta_x(y)$: 1 回のロールバックリカバリ処理完了率.
- 5) p : ロールバックリカバリ成功確率, すなわち状態 2 から状態 1 への推移確率,
 q : ロールバックリカバリ失敗確率, すなわち状態 2 から状態 2 への推移確率, ここで $p+q=1$.
- 6) $Y(t)$: $I(t)=2$ のとき, 最後に状態 1 から状態 2 へ推移してからの経過時間.
- 7) S_{total} : チェックポイント生成間の, ロールバックリカバリに対する処理時間を含む総動作時間,
 $W(t)$: 累積分布関数,
 $w(t)$: 確率密度関数.
- 8) C : チェックポイント生成に要する時間,
 $D(c)$: 累積分布関数,
 $d(c)$: 確率密度関数,
 $v(c)$: チェックポイント生成完了率, すなわち状態 0 から状態 1 への推移率.
- 9) L : 1 サイクルの長さ, ここで $L=S_{total}+C$.

2.2 基本チェックポイントモデルに対する最適政策¹²⁾

前述のモデルと仮定より, 定常アベイラビリティ A は以下のように導出される:

$$A = \frac{E[S]}{E[S] + E[C] + p^{-1} \int_0^{\infty} r(x) E[V_x] \bar{G}(x) dx}, \quad (2.1)$$

ここで, $E[S] = \int_0^{\infty} x dG(x)$, $E[C] = \int_0^{\infty} c dD(c)$, $E[V_x] = \int_0^{\infty} y dB_x(y)$ であり, 一般に $\bar{\psi}(\cdot) = 1 - \psi(\cdot)$ とする.

この定常アベイラビリティに対する評価に基づいて最適チェックポイント政策を議論する. チェックポイント生成間隔 S に関して以下の定理を得る.

[定理 2.1] 次のように定義する:

$$h(x) = r(x) E[V_x], \quad (2.2)$$

および

$$H(x) = \int_0^x h(\tau) d\tau. \quad (2.3)$$

ロールバックリカバリの失敗および M/M/1 型トランザクションを考慮したチェックポイント政策に関する一考察

もし $h(x)$ が x に関して単調増加であるならば、定常アベイラビリティ A を最大にする累積分布関数 $G(x)$ は以下のように与えられる：

$$G(x) = U(x-T) = \begin{cases} 1, & x \geq T, \\ 0, & x < T, \end{cases} \quad (2.4)$$

ここで、一般的に $T = \int_0^{\infty} x dG(x)$ とする。||

定理 2.1 より、当モデルに対しては $h(x)$ が x に関して単調増加であるならば、定周期チェックポイント生成が最適チェックポイント政策となる。従って以下の議論では $h(x)$ は x に関して単調増加であると仮定する。さらに、チェックポイント生成間隔 T の関数として定常アベイラビリティ $A(T)$ を表現する：

$$A(T) = \frac{T}{T + E[C] + H(T)/p}. \quad (2.5)$$

定常アベイラビリティ $A(T)$ を最大にする最適チェックポイント生成間隔 T^* の決定に関して以下の定理を得る。

[定理 2.2] 次式を定義する：

$$q_0(T) = E[C] + \frac{H(T) - Th(T)}{p}. \quad (2.6)$$

(1) もし $h(x)$ が x に関して狭義単調増加ならば、そのとき方程式 $q_0(T^*) = 0$ を満足する有限で唯一の最適チェックポイント生成間隔 T^* ($0 < T^* < \infty$) が存在し、そのときの定常アベイラビリティは以下のようになる：

$$A(T^*) = \frac{1}{1 + h(T^*)/p}. \quad (2.7)$$

(2) もし $h(x)$ が x に関して一定値であるならば、そのとき $T^* \rightarrow \infty$ となる。すなわちチェックポイント生成は行われぬ。そのときの定常アベイラビリティは以下のようになる：

$$A(\infty) = \frac{1}{1 + h(\infty)/p}. \quad (2.8)$$

||

3. 拡張チェックポイント政策：M/M/1 型トランザクションを考慮した場合

本章では第 2 章で概説したロールバックリカバリ成功確率を一定と仮定した場合の Fukumoto et al.¹²⁾ によるモデルに M/M/1 型トランザクション⁴⁾ を考慮し、その確率的挙動および最適政策を議論する。

M/M/1 型トランザクションを定義する⁴⁾。トランザクションはコンピュータシステムに到着率 λ のポアソン過程に従って到着する。トランザクションに対する処理/再処理時間は処理率 μ を伴う指数分布に従う。従ってシステムは状態 $I(t) = 1$ のときのみ処理をする単一待ち行列システム (M/M/1 型待ち行列システム) となる。以下ではこのシステムについて議論する。

時刻 t において待ち行列システムに存在するトランザクションの数を $N(t)$ とする ($N(0) = 0$)。条件付き累積分布関数 $F(n, x, t)$ およびその確率密度関数 $f(n, x, t)$ を定義する：

$$F(n, x, t) = P[N(t) = n, X(t) \leq x | I(t) = 1], \quad (3.1)$$

および

$$f(n, x, t) = \frac{\partial}{\partial x} F(n, x, t). \quad (3.2)$$

確率的な議論より以下の結果が得られる：

$n > 0, x > 0$ に対して,

$$\begin{aligned} & f(n, x + \Delta, t + \Delta) \\ &= (1 - \lambda\Delta)(1 - \mu\Delta)(1 - r(x)\Delta)(1 - \eta(x)\Delta)f(n, x, t) \\ & \quad + \lambda\Delta f(n-1, x, t) + \mu\Delta f(n+1, x, t) \\ & \quad + r(x)\Delta \int_0^\infty \sum_{j=0}^n \frac{(\lambda y)^j}{j!} e^{-\lambda y} f(n-j, x, t-y) \\ & \quad \times p \sum_{i=1}^\infty q^{i-1} b_x^{(i)}(y) dy + o(\Delta), \end{aligned} \quad (3.3)$$

ここで一般に、 $\psi^{(n)}(\cdot)$ は $\psi(\cdot)$ 自身の n 重畳み込みとする。 $\Delta \rightarrow 0$ とすると,

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \right) f(n, x, t) \\ &= -(\lambda + \mu + r(x) + \eta(x))f(n, x, t) \\ & \quad + \lambda f(n-1, x, t) + \mu f(n+1, x, t) \\ & \quad + r(x) \int_0^\infty \sum_{j=0}^n \frac{(\lambda y)^j}{j!} e^{-\lambda y} f(n-j, x, t-y) \\ & \quad \times p \sum_{i=1}^\infty q^{i-1} b_x^{(i)}(y) dy, \quad n > 0, x > 0. \end{aligned} \quad (3.4)$$

$n = 0, x > 0$ に対しては,

$$\begin{aligned} & f(0, x + \Delta, t + \Delta) \\ &= (1 - \lambda\Delta)(1 - r(x)\Delta)(1 - \eta(x)\Delta)f(0, x, t) \\ & \quad + \mu\Delta f(1, x, t) \\ & \quad + r(x)\Delta \int_0^\infty e^{-\lambda y} f(0, x, t-y) p \sum_{i=1}^\infty q^{i-1} b_x^{(i)}(y) dy \\ & \quad + o(\Delta). \end{aligned} \quad (3.5)$$

$\Delta \rightarrow 0$ とすると,

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \right) f(0, x, t) \\ &= -(\lambda + r(x) + \eta(x))f(0, x, t) \\ & \quad + \mu f(1, x, t) \\ & \quad + r(x) \int_0^\infty e^{-\lambda y} f(0, x, t-y) p \sum_{i=1}^\infty q^{i-1} b_x^{(i)}(y) dy, \\ & \quad n = 0, x > 0. \end{aligned} \quad (3.6)$$

また,

$$f(n, x, 0) = 0, \quad n \geq 0, x > 0, \quad (3.7)$$

および

$$\begin{aligned} f(n, 0, t) &= \int_0^\infty \int_0^\infty \sum_{j=0}^n \frac{(\lambda c)^j}{j!} e^{-\lambda c} f(n-j, x, t-c) \eta(x) d(c) dx dc, \\ n \geq 0, x = 0. \end{aligned} \quad (3.8)$$

以後, この待ち行列システムはエルゴード的であるとする.

以下の関数を定義する:

$$f(n, x) = \lim_{t \rightarrow \infty} f(n, x, t), \quad (3.9)$$

および

$$\pi(u, x) = \sum_{n=0}^{\infty} f(n, x) u^n. \quad (3.10)$$

さらに, 一般的に $\psi(t)$ の変数 t に関するラプラス変換を,

$$\hat{\psi}(s) = \int_0^\infty e^{-st} \psi(t) dt = L_t[\psi(t)] \quad (3.11)$$

とすると, 対応するラプラス変換は以下ようになる:

$$\hat{f}(n, s) = \int_0^\infty e^{-sx} f(n, x) dx = L_x[f(n, x)], \quad (3.12)$$

および

$$\begin{aligned} \hat{\pi}(u, s) &= \int_0^\infty e^{-sx} \pi(u, x) dx = L_x[\pi(u, x)] \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} \hat{f}(n, s) u^n. \end{aligned} \quad (3.13)$$

式 (3.8) より, $n \geq 0, x = 0$ に対して,

$$f(n, 0) = \int_0^\infty \int_0^\infty \sum_{j=0}^n \frac{(\lambda c)^j}{j!} e^{-\lambda c} f(n-j, x) \eta(x) d(c) dx dc, \quad (3.14)$$

となり, さらに,

$$\begin{aligned} \pi(u, 0) &= \sum_{n=0}^{\infty} f(n, 0) u^n \\ &= \int_0^\infty \int_0^\infty \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{j=0}^n u^n \frac{(\lambda c)^j}{j!} e^{-\lambda c} f(n-j, x) \eta(x) d(c) dx dc \\ &= \int_0^\infty e^{-\lambda(1-u)c} d(c) dc \int_0^\infty \pi(u, x) \eta(x) dx. \end{aligned} \quad (3.15)$$

従って,

$$\pi(u, 0) = \hat{d}(\lambda(1-u)) \int_0^\infty \pi(u, x) \eta(x) dx. \quad (3.16)$$

式 (3.4) および (3.6) より, $t \rightarrow \infty$ のときには次式が得られる:

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial x} f(n, x) \\
&= -(\lambda + \mu + r(x) + \eta(x)) f(n, x) \\
&\quad + \lambda f(n-1, x) + \mu f(n+1, x) \\
&\quad + r(x) \int_0^{\infty} \sum_{j=0}^n \frac{(\lambda y)^j}{j!} e^{-\lambda y} f(n-j, x) p \sum_{i=1}^{\infty} q^{i-1} b_x^{(i)}(y) dy, \\
&\quad n > 0, \quad x > 0,
\end{aligned} \tag{3.17}$$

および

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial x} f(0, x) \\
&= -(\lambda + r(x) + \eta(x)) f(0, x) + \mu f(1, x) \\
&\quad + r(x) \int_0^{\infty} e^{-\lambda y} f(0, x) p \sum_{i=1}^{\infty} q^{i-1} b_x^{(i)}(y) dy, \\
&\quad n = 0, \quad x > 0.
\end{aligned} \tag{3.18}$$

従って、式 (3.17) および (3.18) より、

$$\begin{aligned}
& s\hat{\pi}(u, s) - \pi(u, 0) \\
&= -\lambda(1-u)\hat{\pi}(u, s) - \mu \left(1 - \frac{1}{u}\right) \hat{\pi}(u, s) \\
&\quad + \mu \left(1 - \frac{1}{u}\right) \hat{f}(0, s) - \int_0^{\infty} e^{-sx} \eta(x) \pi(u, x) dx \\
&\quad + \int_0^{\infty} e^{-sx} r(x) \pi(u, x) \frac{\hat{b}_x(\lambda(1-u)) - 1}{1 - q\hat{b}_x(\lambda(1-u))} dx.
\end{aligned} \tag{3.19}$$

整理すると、

$$\begin{aligned}
& \hat{\pi}(u, s) \\
&= \left[\mu \left(1 - \frac{1}{u}\right) \hat{f}(0, s) - \int_0^{\infty} e^{-sx} \eta(x) \pi(u, x) dx + \pi(u, 0) \right. \\
&\quad \left. + \int_0^{\infty} e^{-sx} r(x) \pi(u, x) \frac{\hat{b}_x(\lambda(1-u)) - 1}{1 - q\hat{b}_x(\lambda(1-u))} dx \right] \\
&\quad / \left[s + \lambda(1-u) + \mu \left(1 - \frac{1}{u}\right) \right].
\end{aligned} \tag{3.20}$$

式 (3.20) に式 (3.16) を代入すると次式を得る：

$$\begin{aligned}
& \hat{\pi}(u, s) \\
&= \left[\mu \left(1 - \frac{1}{u}\right) \hat{f}(0, s) + \int_0^{\infty} [\hat{d}(\lambda(1-u)) - e^{-sx}] \eta(x) \pi(u, x) dx \right. \\
&\quad \left. + \int_0^{\infty} e^{-sx} r(x) \pi(u, x) \frac{\hat{b}_x(\lambda(1-u)) - 1}{1 - q\hat{b}_x(\lambda(1-u))} dx \right]
\end{aligned}$$

ロールバックリカバリの失敗および M/M/1 型トランザクションを考慮したチェックポイント政策に関する一考察

$$/ \left[s + \lambda(1-u) + \mu \left(1 - \frac{1}{u} \right) \right]. \quad (3.21)$$

式 (3.21) において, $s \rightarrow 0, u \rightarrow 1$ とする:

$$\begin{aligned} & \lim_{u \rightarrow 1} \lim_{s \rightarrow 0} \hat{\pi}(u, s) \\ &= \left[\mu \hat{f}(0, 0) + \lambda E[C] \int_0^{\infty} \eta(x) \pi(1, x) dx \right. \\ & \quad \left. + \frac{\lambda}{p} \int_0^{\infty} r(x) \pi(1, x) E[V_x] dx \right] / [-\lambda + \mu]. \end{aligned} \quad (3.22)$$

ここで, 明らかに,

$$\lim_{u \rightarrow 1} \lim_{s \rightarrow 0} \hat{\pi}(u, s) = 1, \quad (3.23)$$

であり, さらに再生理論のよく知られた結果より明らかに次の関係が成立する (文献¹³⁾, p. 45 参照):

$$\pi(1, x) = \frac{\overline{G}(x)}{E[S]}. \quad (3.24)$$

従って, 式 (3.22), (3.23), (3.24) および (2.1) より次式を得る:

$$\begin{aligned} & \hat{f}(0, 0) \\ &= 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \frac{E[S] + E[C] + p^{-1} \int_0^{\infty} r(x) \overline{G}(x) E[V_x] dx}{E[S]} \\ &= 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) \frac{1}{A}. \end{aligned} \quad (3.25)$$

この $\hat{f}(0, 0)$ は状態が 1 (通常に動作中) であるときに, システムが遊んでいる確率である. さらに, $\hat{f}(0, 0) > 0$ より式 (3.4), (3.6) および (3.8) の定常解が存在するための条件は次式となる:

$$\frac{\lambda}{\mu} < A. \quad (3.26)$$

次に, 1 回当りのロールバックリカバリ処理時間の期待値 $E[V_x]$ を次式で与える⁴⁾:

$$E[V_x] = \alpha x + \beta, \quad \alpha > 0, \beta \geq 0. \quad (3.27)$$

ここで, αx は状態 1 における時間間隔 x において処理されたトランザクションにおいて再処理が必要なトランザクションの総処理時間の期待値であり, β はロールバックリカバリ処理のための一定段取り時間である. このとき, 式 (2.2) で与えられる $h(x)$ は以下ようになる:

$$h(x) = r(x)(\alpha x + \beta). \quad (3.28)$$

以下においては前述の状況の下で $h(x)$ が x に関して狭義単調増加であると仮定し, 定常アベイラビリティを最大にする最適政策について議論する.

$h(x)$ が x に関して狭義単調増加であるので定理 2.1 より定常アベイラビリティは式 (2.5) で与えられる. 従って, 式 (3.28) を代入すると定常アベイラビリティは以下の式で与えられる:

$$A(T) = \frac{T}{T + E[C] + p^{-1} \int_0^T r(\tau)(\alpha\tau + \beta) d\tau}. \quad (3.29)$$

コンピュータシステム障害の後再処理されねばならないトランザクションの比率を k とすると以下の関係が与えられる⁴⁾：

$$\alpha = k(1 - \hat{f}(0, 0)). \quad (3.30)$$

従って式 (3.25) より以下の定理を得る。

〔定理 3.1〕 以下の関係が成立する：

$$\alpha = \frac{k\rho}{A}, \quad (3.31)$$

ここで、 $\rho = \lambda\mu$ とする。||

定理 3.1 を適用すると、式 (3.29) で与えられる定常アベイラビリティは以下のようになる：

$$A(T) = \frac{T - p^{-1}k\rho \int_0^T \tau r(\tau) d\tau}{T + E[C] + p^{-1}\beta \int_0^T r(\tau) d\tau}. \quad (3.32)$$

式 (3.32) で与えられる定常アベイラビリティ $A(T)$ を最大にする最適チェックポイント生成間隔 T^* の決定に関して定理 2.2 より以下の結果を得る。

〔定理 3.2〕 次式を定義する：

$$\begin{aligned} q_a(T) = & E[C] + p^{-1}\beta \left(\int_0^T r(\tau) d\tau - Tr(T) \right) \\ & - p^{-1}k\rho \left[Tr(T) \left(T + E[C] + p^{-1}\beta \int_0^T r(\tau) d\tau \right) \right. \\ & \left. - (1 + p^{-1}\beta r(T)) \int_0^T \tau r(\tau) d\tau \right]. \end{aligned} \quad (3.33)$$

もし $h(x) = r(x)(\alpha x + \beta)$ が x に関して狭義単調増加ならば、そのとき方程式 $q_a(T^*) = 0$ を満足する有限で唯一の最適チェックポイント生成間隔 $T^*(0 < T^* < \infty)$ が存在し、そのときの定常アベイラビリティは以下のようになる：

$$A(T^*) = \frac{1 - p^{-1}k\rho T^* r(T^*)}{1 + p^{-1}\beta r(T^*)}. \quad (3.34)$$

||

4. む す び

本稿では最初に基本となるチェックポイントモデルである、ロールバックリカバリ成功確率を一定と仮定した場合の Fukumoto et al.¹²⁾ によるモデルおよびその最適政策を示した。次に、その基本チェックポイントモデルに M/M/1 型トランザクションを考慮し、その確率的挙動および最適政策を議論した。

システムの故障率を $r(x) = r$ 、ロールバックリカバリ成功確率を $p = 1$ (すなわち $q = 0$) とすると定理 3.2 より最適チェックポイント生成間隔は以下のようになる：

$$T^* = \frac{E[C]}{1 + \beta r} \left[\left(1 + \frac{2(1 + \beta r)}{k \rho r E[C]} \right)^{1/2} - 1 \right]. \quad (4.1)$$

これは文献⁴⁾の結果と一致する。

文 献

- 1) 福本 聡, 海生直人, 尾崎俊治, “コンピュータシステムの障害回復技術”, オペレーションズ・リサーチ, **40**(4), 1995 4月, pp.198-204.
- 2) J. W. Young, “A First Order Approximation to the Optimum Checkpoint Interval”, *Comm. ACM*, **17**(9), 1974, pp. 530-531.
- 3) K. M. Chandy, J. C. Browne, C. W. Dissly and W. R. Uhrig, “Analytic Models for Rollback and Recovery Strategies in Data Base Systems”, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, **SE-1**(1), 1975, pp. 100-110.
- 4) E. Gelenbe, “On the Optimum Checkpoint Interval”, *J. ACM*, **26**(2), 1979, pp. 259-270.
- 5) 福本 聡, 海生直人, 尾崎俊治, “チェックポインティング濃度を使用した最適チェックポインティング方策”, 情報処理学会論文誌, **31**(6), 1990 6月, pp. 887-893.
- 6) S. Fukumoto, N. Kaio and S. Osaki, “Evaluation for a Database Recovery Action with Periodical Checkpoint Generations”, *IEICE TRANSACTIONS*, **E74**(7), 1991 Jul., pp. 2076-2082.
- 7) 福本 聡, 石井誠一, 前沢教司, 海生直人, 尾崎俊治, “キーボードデータ入力操作におけるチェックポイント設定方式とその有効性に関する考察”, 電子情報通信学会論文誌, **J76-D-1**(7), 1993 7月, pp. 390-404.
- 8) M. Odagiri, N. Kaio and S. Osaki, “A Note on Optimal Checkpoint Sequence Taking Account of Preventive Maintenance”, *IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, **E77-A**(1), 1994 Jan., pp. 244-246.
- 9) 柳原正義, 小田切政徳, 海生直人, 尾崎俊治, “チェックポインティングに起因するシステム障害を考慮した最適チェックポインティング方策”, 電子情報通信学会論文誌, **J78-A**(1), 1995 1月, pp. 54-63.
- 10) 小田切政徳, 土肥 正, 海生直人, 尾崎俊治, “最適チェックポインティング方策におけるシステム障害の影響について”, システム制御情報学会論文誌, **9**(1), 1996 1月, pp. 41-50.
- 11) M. Odagiri, T. Dohi, N. Kaio and S. Osaki, “An Economical Analysis for a Hybrid Data Backup System”, *IEICE TRANSACTIONS on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, **E79-A**(1), 1996 Jan., pp. 118-125.
- 12) S. Fukumoto, S. Nakagawa, N. Kaio and S. Osaki, “Optimum Checkpoint Policies Attending with Unsuccessful Rollback Recovery”, *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, accepted for publication.
- 13) 依田 浩, 尾崎俊治, 中川覃夫, “応用確率論”, 朝倉書店, 1977.

Abstract

A Note on Checkpoint Policies Taking Account of Unsuccessful Rollback Recovery and M/M/1 Queueing System

Naoto Kaio and Michinori Sakaguchi

In this paper, we treat the checkpoint policies taking account of unsuccessful rollback recovery after computer system failure, where the probability that a rollback recovery completes successfully is constant and the transactions obey the M/M/1 queueing system. We discuss the probabilistic behaviors and the optimum policies maximizing the stationary availability.