生産システムに関連して

第４回待ち行列チュートリアル

東京工業大学大岡山キャンパス
西8号館（E）10階大会議室
2008年6月21日（土）14:00～17:00

愛知工業大学　大野　勝久
ohno@aitech.ac.jp

はじめに

- [1] J. A. Buzacott and I. G. Shanthikumar, *Stochastic Models of Manufacturing Systems*, Prentice Hall, NJ, 1993.
- 待ち行列理論を駆使して，制御問題・設計と性能評価を論じている
  - 単一工程
    - フローライン
    - トランスファライン
    - ジョブショップ
    - FMS(Flexible Manufacturing System)

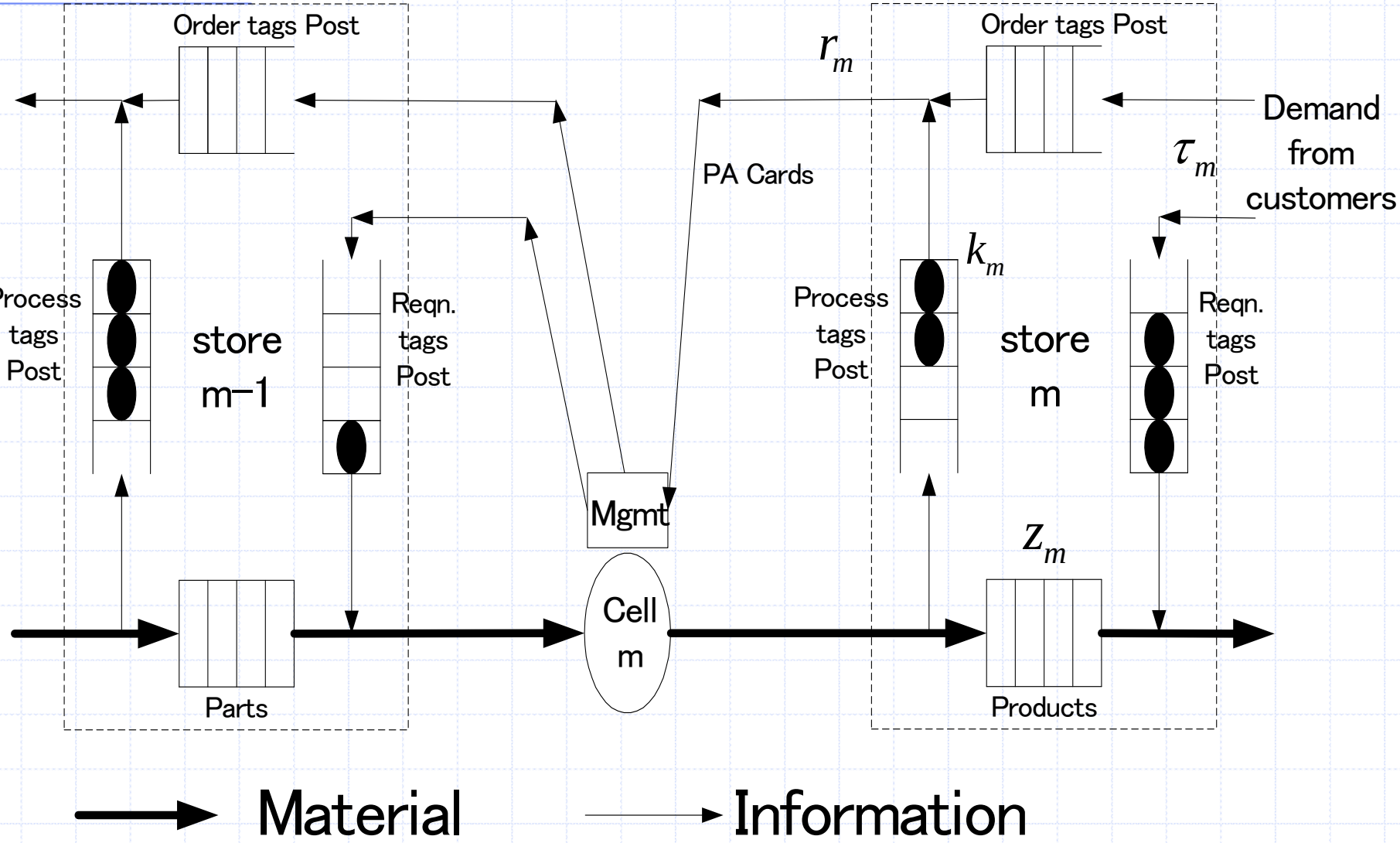
はじめに

- 10章[1,pp.498-504]
- Production Authorization Cards System
- PACシステムを提案，以下を統一的に議論
  - 受注生産ライン
  - 生産バッファ有限ライン
  - 生産バッファ共有ライン
  - MRP(Material Requirements Planning)
  - OPT
  - 基点在庫(base stock)方式
  - かんばん方式
  - CONWIP

PACシステム

- 調達タグ（Requisition tag）
- 発注タグ（Order tag）
- 加工タグ（Process tag）
- 生産指示かんばん（PA(Product Authorization)card）
- パラメター(z_i,k_i,r_i,t_i),i=1,2,...,m.:
  - z_i：activeなPAカードがないときのStore iの在庫量
  - k_i：加工タグの最大枚数
  - r_i：Cell iへ送られるPAカードのロット数
  - t_i：注文タグと調達タグの時間遅れ

PACシステム

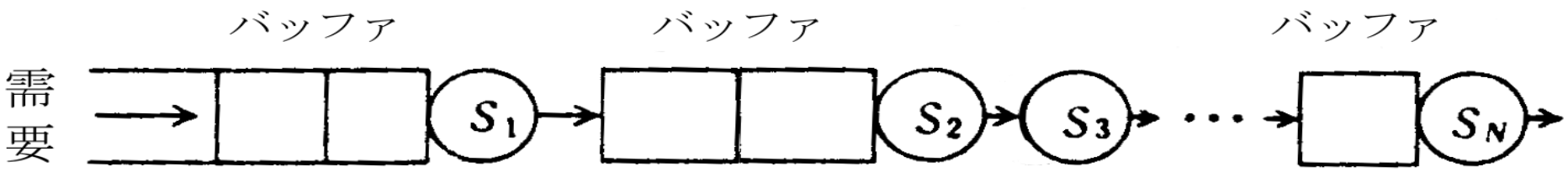

Order tags Post
r_m
Order tags Post
Demand
from
customers
τ_m
PA Cards
k_m
Process
tags
Post
store
m−1
Reqn.
tags
Post
Process
tags
Post
store
m
Reqn.
tags
Post
Mgmt
z_m
Cell
m
Parts
Products
Material
Information

PACシステム

- パラメター(z_i,k_i,r_i,t_i),i=1,2,...,m.:
  - z_i：activeなPAカードがないときのStore iの在庫量
  - k_i：加工タグの最大枚数
  - r_i：Cell iへ送られるPAカードのロット数
  - t_i：注文タグと調達タグの時間遅れ
- 1)Produce-to-order system:$(0,\infty,1,0)$
- 2)Base stock system:$(>0,\infty,\geqq 1,0)$
- 3)MRP:$(\geqq 0,\infty,\geqq 1,\geqq 0)$
- 4)Kanban system:$(>0,=z_i,\geqq 1,0)$
- 5)Local control:$(>c_i,=c_i,1,0)$,c_i parallel servers
- 6)Multi-stage finite buffer system:$(\geqq c_i,\leqq c_i,1,0)$
- 7)Series system with shared buffer space:$z_i \geqq k_i > c_i$
- 8)Integral control:$(\geqq 0,=z_i+k_{i+1}$ for $i<m,=z_m,1,0)$
- 9)OPT:$k_i \geqq z_i+k_{i+1}$ for all i upstream of the bottleneck
- 10)CONWIP:$z_i^*=0$ for $i<m$, $z_m^* = \sum_{i=1}^{m} z_i$

PACシステム

- 1） 受注生産方式（Make-To-Order system,MTO）
  - 製番管理方式，部品中心生産システム，生産座席システム
  - [2]大野勝久，田村隆善，森健一，中島健一，「生産管理システム」，12章，朝倉書店，2002



PACシステム

- ２）基点在庫方式（Base stock system）
  - [3] J.F. Magee: *Production Planning and Inventory Control*, McGraw-Hill(1958)
  - [4]A. J. Clark and H. Scarf, Optimal policies for multi-echelon inventory problem, *Management Science*, Vol. 6, pp.475-490, 1960.
  - [5]L. A. Johnson and D. C. Montgomery, *Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control*, John Wiley & Sons, NY, 1974.
  - エシェロン在庫（echelon stock）
  - エシェロン在庫位置（エシェロン在庫＋発注残）
  - 各工程の基点在庫量
- 需要により最終製品が引きとられる毎に，全工程へ同時に生産指示が出される。

PACシステム

◈ ３）　MRP(Material Requirements Planning:資材所要量計画) ［2, 10章]

- 独立需要品目
  - 最終製品や補修部品等，その需要が他の品目とは独立に,販売や業務計画などに基づいて決められる品目
- 従属需要品目
  - 原材料,購入部品,内製品等，その需要が独立需要品目に対する需要から計算できる品目
- 基準生産計画(Master Production Schedule)
  - 各タイム・バケットで生産すべき独立需要品目の生産量を与える
- 部品表(Bill of Material，BOM，B/M)

PACシステム

- ４）かんばん方式：JIT生産システム
- [6]大野耐一：トヨタ生産方式–脱規模の経営をめざして，ダイヤモンド社（1978）
- [7] Sugimori, Y., Kusunoki, K., Cho, F., and Uchikawa, S., Toyota production system and kanban system materialization of just-in-time and respect-for-human system, *International Journal of Production Research*, 5, 553-564 (1977)
  - [8] S.J.New:“Celebrating the enigma: the continuing puzzle of the Toyota Production System,” *International Journal of Production Research*, Vol. 45, pp.3545-3554(2007)

PACシステム

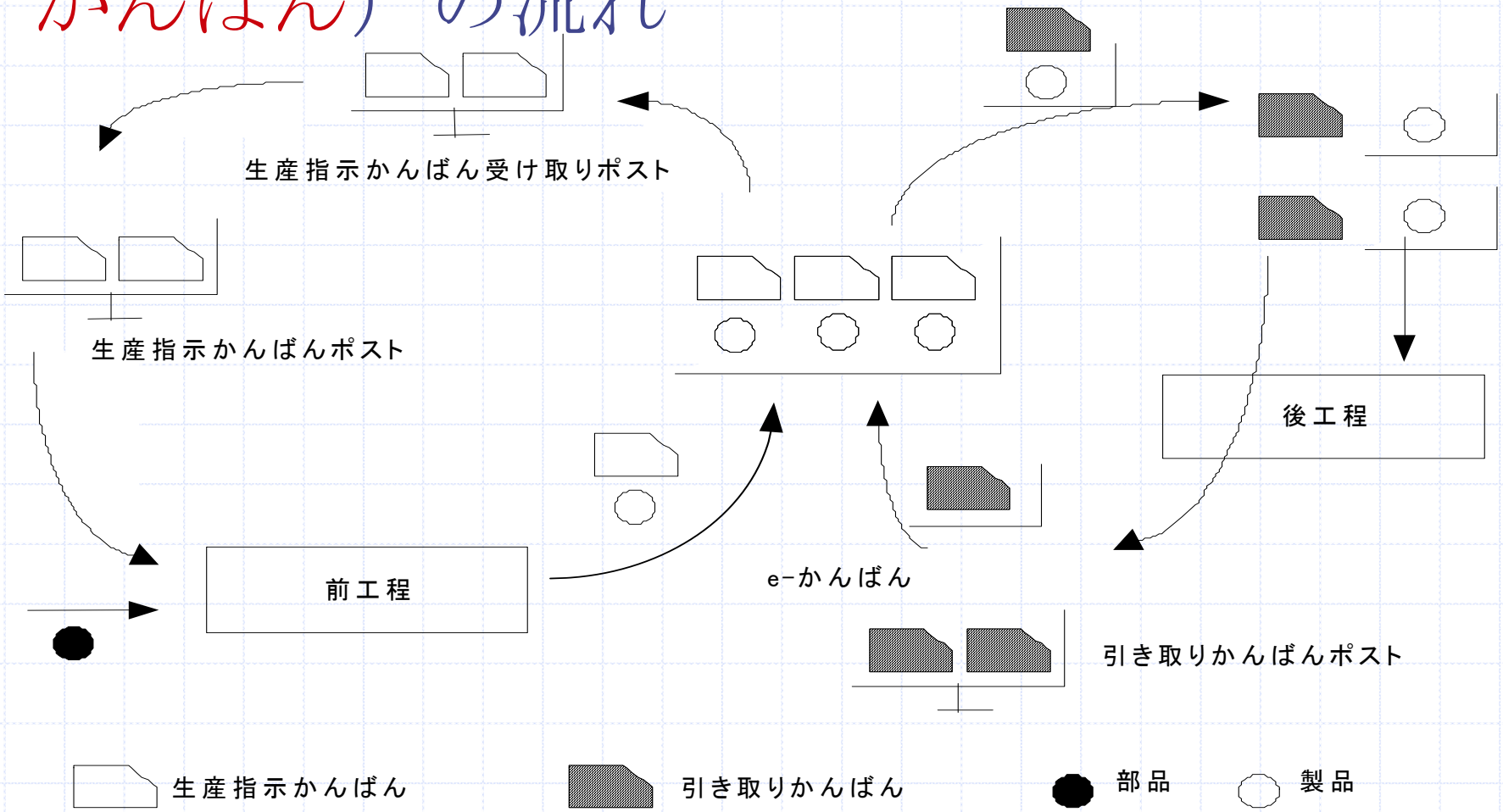
- [9]Monden, Y., *Toyota Production System*, Institute of Industrial Engineers, Norcross, Georgia , 1983.
- [10]門田安弘　「トヨタ　プロダクションシステム—その理論と体系」，ダイヤモンド社，2006.
- [11]「JIT生産システムの数理」特集号，オペレーションズ・リサーチ，Vol. 47, No. 4, 2002.
- リーン生産システム：

ジェームズ・P・ウオマック他，　リーン生産方式が、世界の自動車産業をこう変える，経済界(1990)

ジェームズ・ウオーマック他、ムダなし企業への挑戦、日経BP社(1997)

4) かんばん方式

- 生産指示かんばんと引き取りかんばん（e−かんばん）の流れ



PACシステム

- 5)局所制御（Local control)
  - 各工程は，使用する部品と機械が存在し，製品置き場が一杯でない限り生産する。
- 6)有限バッファライン（Multi-stage finite buffer system)
  - 有限のバッファーを持つ通常の多工程フローラインである。
- 7)共有バッファライン（Series system with shared buffer space）
  - 各工程のバッファーは，後工程のバッファーが一杯な時に限り，完成した製品も保持できると仮定した多工程フローラインである。
  - (a, b, k)システム

(a, b, k)システム

- [12] P. Glasserman and D. D. Yao, *Monotone Structure in Discrete-Event Systems*, John Wiley & Sons, New York , 1994.
  - a_i:Cell i の加工及び加工待ち中の部品の最大数
  - b_i:Cell i のOutput Hopperの容量
  - k_i:Cell i の部品及び製品の最大数（生産指示かんばん枚数）
  - b_i=0: Communication Blocking
  - b_i=1: Manufacturing Blocking
  - a_i=b_i=k_i: Kanban Control

PACシステム

- 8） Integral control
  - システム全体の在庫量に基づいて制御
- 9） OPT(Optimized Production Technology)
- TOC(Theory Of Constraints：制約条件の理論)
  「ザ・ゴール」シリーズ

- 目的達成を阻害するボトルネック工程等の制約条件を発見し、システムを改善する手法
- イスラエルの物理学者Goldratt博士
- DBR(Drum, Buffer, Rope)
- 仕掛品（work in process， WIP）の制限

PACシステム

- 10）CONWIP
- [13] M.L. Spearman, D.L. Woodruff and W. J. Hopp: 「CONWIP: A pull alternative to Kanban」, *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 5, pp. 879-894 ,1990.
- 生産ライン内における全てのWIP（Work in process，仕掛品）を常に一定に保持する。
- 最終製品が顧客に引き取られる毎に先頭工程に生産指示が出され，後は工程順に加工される。

オープンプロブレム

- 一般化かんばん方式を含むよう拡張
- Supply Chain Management (SCM)
- 拡張されたPACにたいする厳密なシステム性能評価手法の開発

オープンプロブレム

- [1]11章 pp.530-538
- Unresolved Issues: Directions for Future Research
- System-Level Issues
  - Flow Lineか？Job Shopか？
    - TPSはFL(整流化)
  - Coordination: PACシステムの最適設定

オープンプロブレム

- Cell-Level Issues
  - Design
    - Flow line, Transfer line, Job shop, FMS, Flexible assembly line
    - 効率的な最適設計アルゴリズムの開発
  - Control
    - 最適制御問題の定式化と最適政策の決定
  - Coordination
    - PACシステム

プッシュとプル

- プッシュ(push)方式：生産・発注指示等が予めスケジュールされている方式
  - 1)受注生産方式，　3)MRP, 9)TOC(制約条件の理論, OPT，ゴール)
- プル(pull)方式：下流工程の加工完了等の状態変化に同期して上流工程への生産指示等が出される方式
  - 2)基点在庫方式（ Base Stock system）
    - 需要により最終製品が引きとられる毎に，全工程へ同時に生産指示が出される。
  - 4)かんばん方式（Kanban system）
    - 各工程で使われるかんばん枚数が決められると，その工程はかんばんの運用ルールに従い，自律分散的に生産活動を継続する 。
  - 10)CONWIP
    - 需要により最終製品が引き取られる毎に，先頭工程に生産指示が出され，後は工程順に加工される。

プッシュとプル

- 制御理論の観点
  - プッシュ方式は状態変化の情報を用いないオープンループ
  - プル方式はクローズドループ
- 確率的に状態が変化する生産・物流システムにたいして，プッシュ方式とプル方式の比較が様々に論じられてきた。
  - [14] 大野勝久「生産・物流システムの最適制御とJIT」，ジャストインタイム生産システム研究会編 ジャストインタイム生産システム，pp.351-377，日刊工業新聞社，2004.
- 情報活用の観点から言えば，プル方式の優位性は自明のことである。

プル方式間の比較

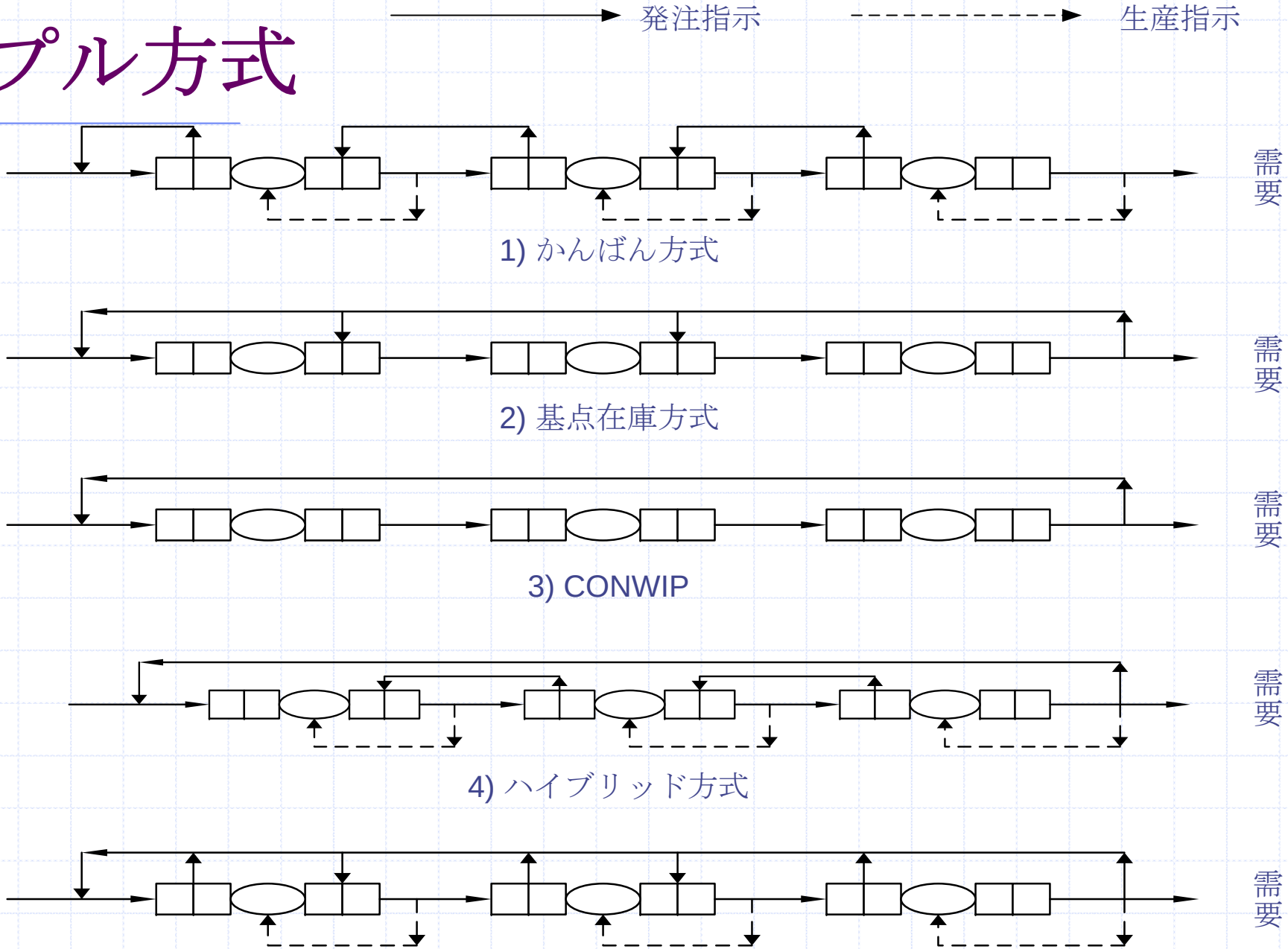
- 3工程生産・物流システムを対象に，各プル方式を最適設定で運用したときの最小平均費用をシミュレーションにより求め，SBMPIMによる最小平均費用と比較し，各プル方式がどれだけ最適に近いか？
- 対象とするプル方式は，
  - かんばん方式，基点在庫方式，CONWIP，
  - ハイブリッド方式，一般化かんばん方式

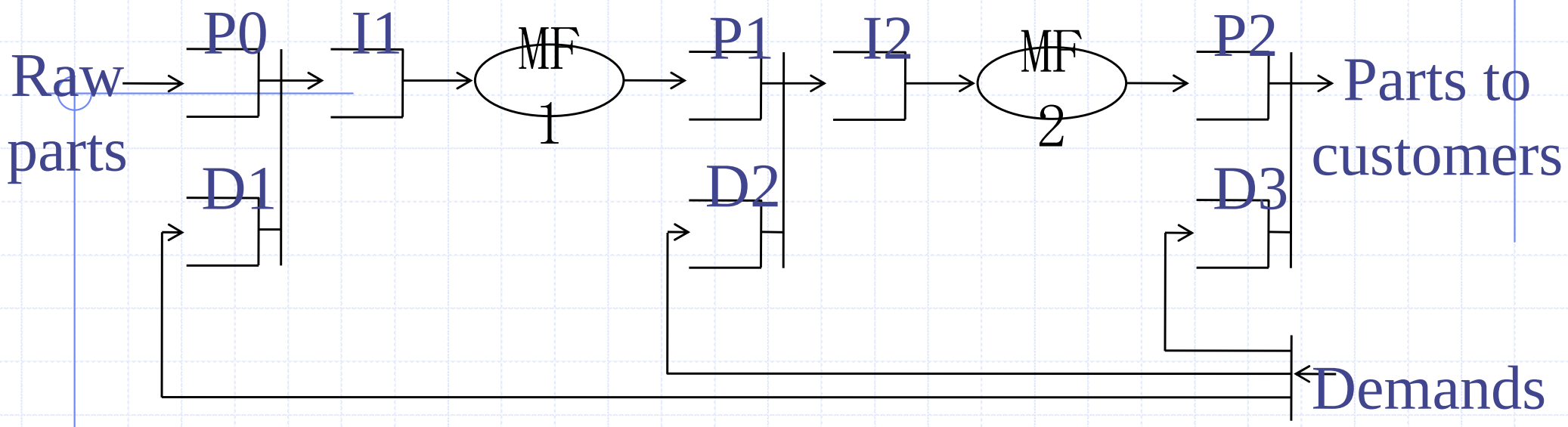
  の5方式である。

プル方式

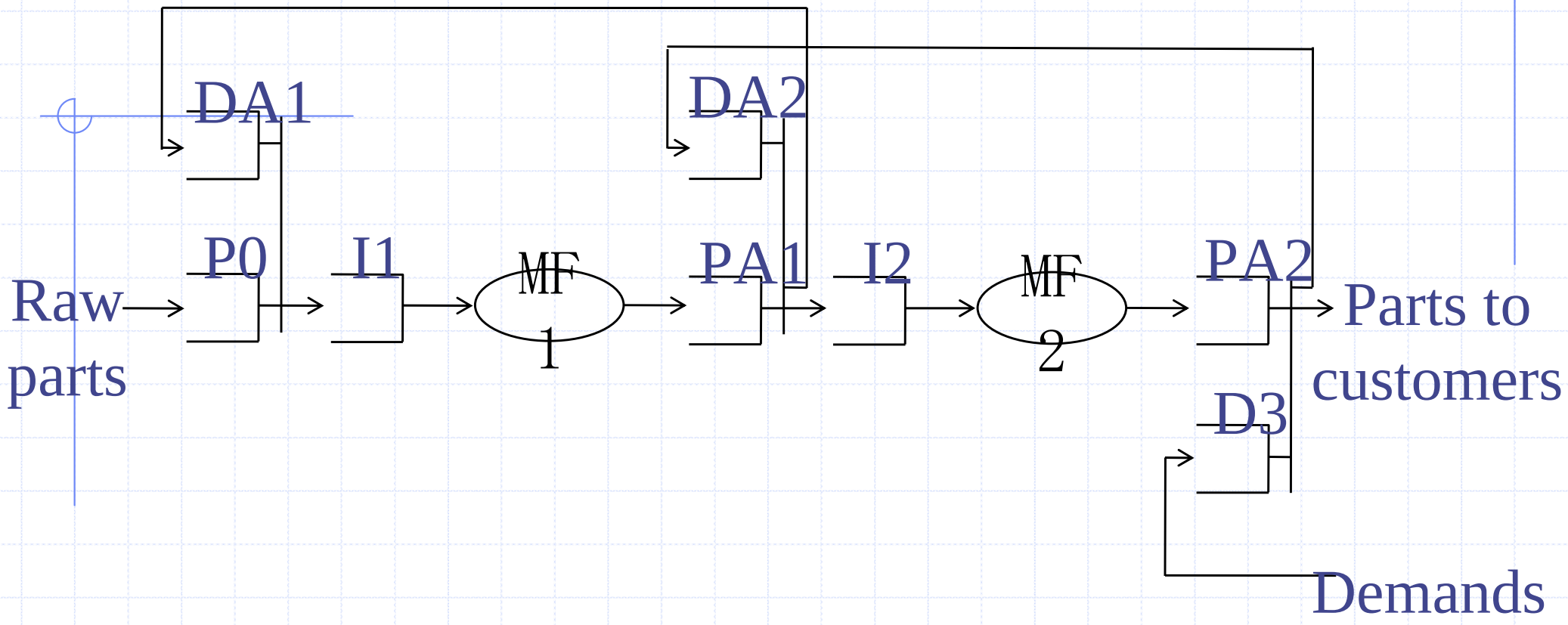
- 2)基点在庫方式
- 4)かんばん方式
- 10)CONWIP
- ハイブリッド方式
  - [15] A.M. Bonvik, C.E. Couch and S.B. Gershwin: 「A comparison of production-line control mechanisms」, International Journal of Production Research, Vol. 35, No. 3, pp. 789-804 (1997)
- 一般化かんばん方式
  - [16] P.H. Zipkin: 「Foundations of Inventory Management」, pp. 354-358, McGraw Hill (2000)
  - [17] F. Karaesmen and Y. Dallery: 「A performance comparison of pull type control mechanisms for multi-stage manufacturing」, International Journal of Production Economics, Vol. 68, pp. 59-71 (2000)

プル方式

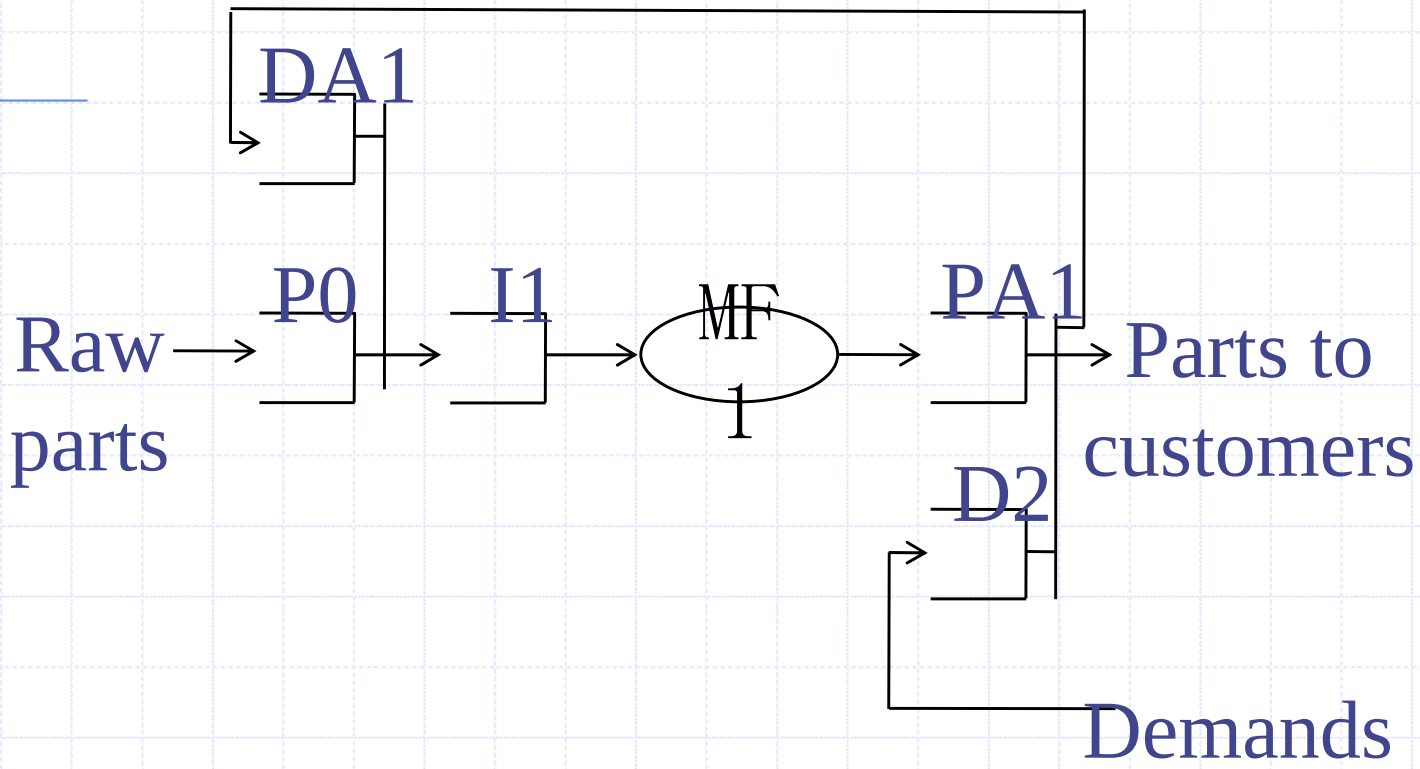

発注指示
生産指示
需要
1) かんばん方式
需要
2) 基点在庫方式
需要
3) CONWIP
需要
4) ハイブリッド方式
需要
5) 一般化かんばん方式



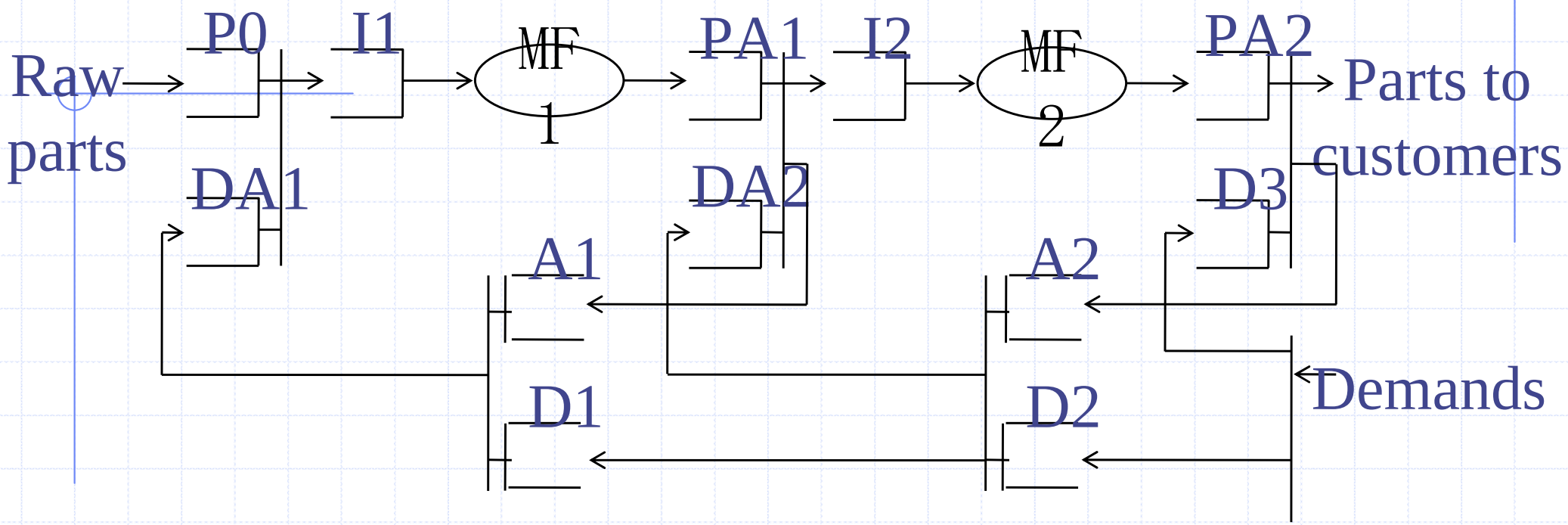
Base Stock Control System [17]



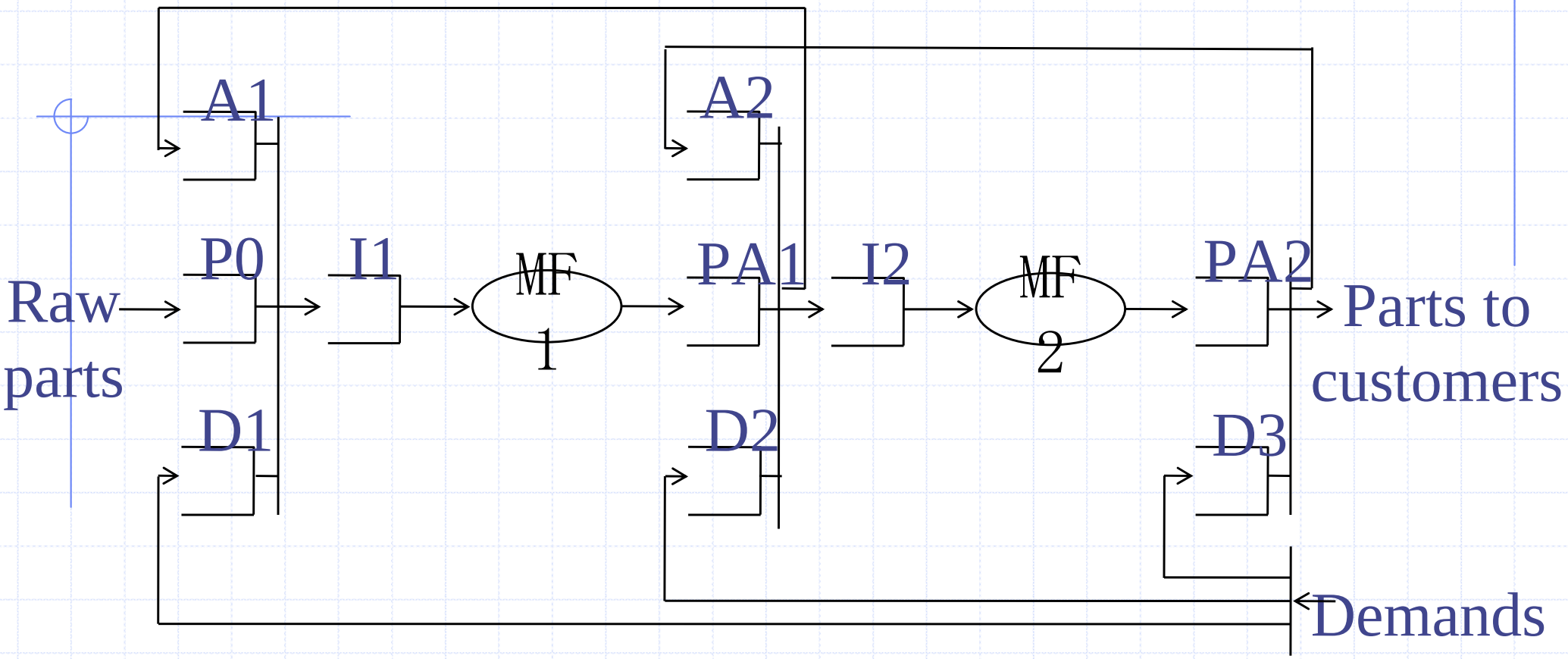
Kanban Control System [17]



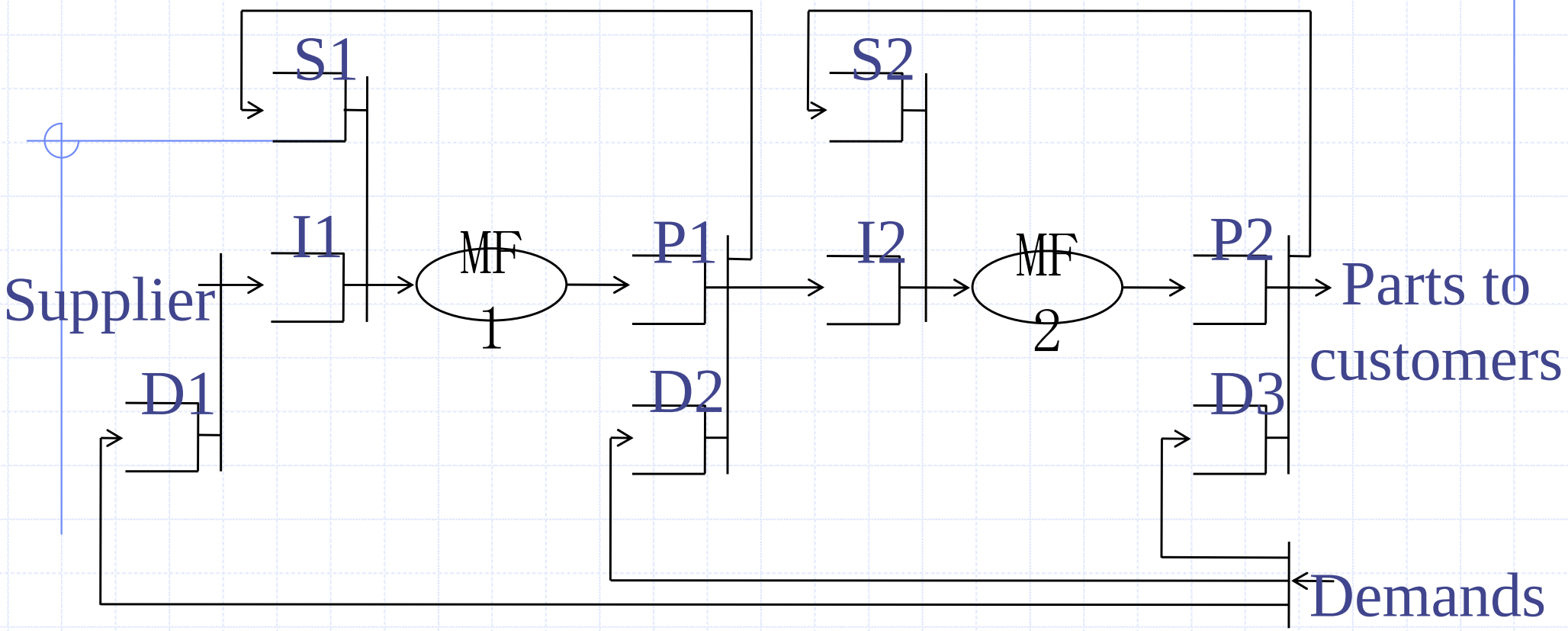
CONWIP Control System [17]



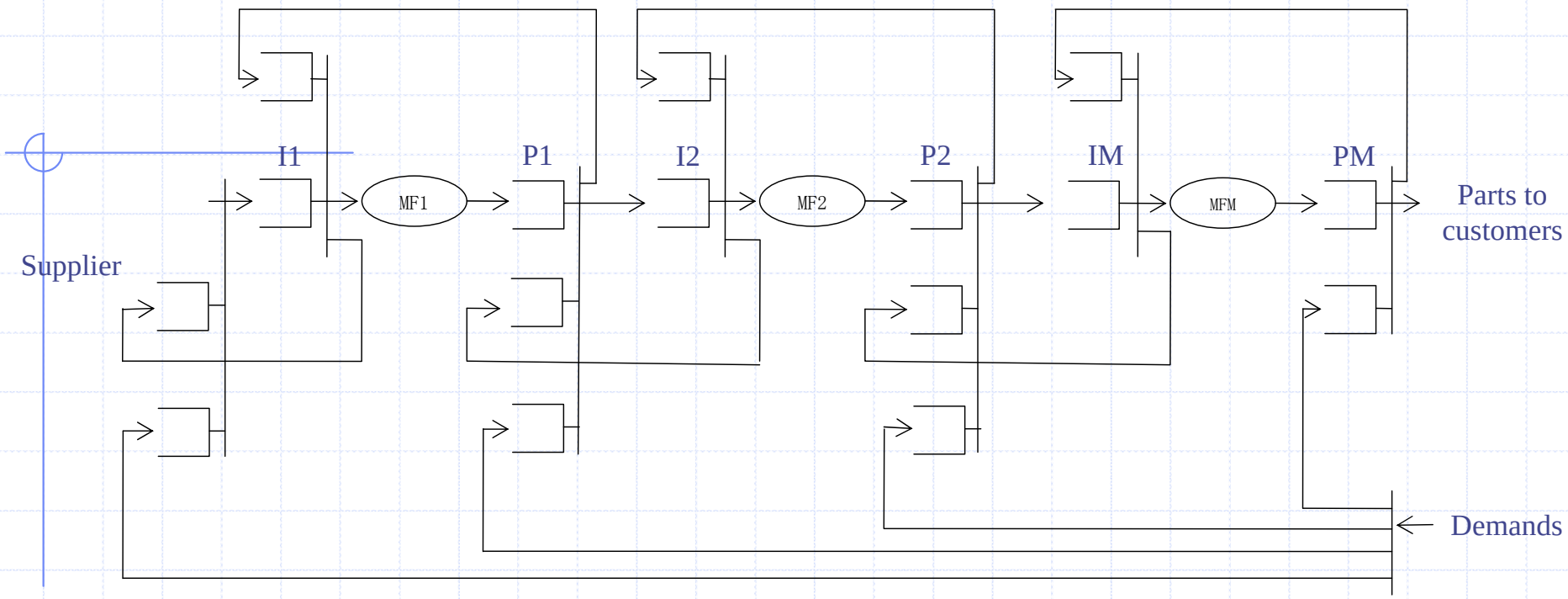
Generalized Kanban Control System [17]



Extended Kanban Control System [17]



Base Stock Control System



Generalized Kanban Control System

プル方式間の最小平均費用の比較

（SBMPIMに比べた増加率（%））

生産能力分布	A		B		C	
SBMPIM	42.568±0.013		44.544±0.012		51.770±0.078	
一般化かんばん方式	52.925±0.071 (6,3,6,3,6,6)	24.13%	52.925±0.071 (6,3,6,3,6,6)	18.62%	55.210±0.187 (8,3,9,3,8,6)	6.12%
基点在庫方式	52.925±0.071 (3,3,6)	24.13%	52.925±0.071 (3,3,6)	18.62%	55.210±0.187 (3,3,6)	6.12%
かんばん方式	55.739±0.404 (5,3,5,3,5,3)	29.95%	55.739±0.404 (5,3,5,3,5,3)	24.19%	58.087±0.538 (5,3,5,3,5,3)	11.00%
ハイブリッド方式	70.072±0.430 (18,5,3,5,3)	63.55%	70.072±0.430 (18,5,3,5,3)	56.30%	73.132±0.638 (18,5,3,5,3)	39.82%
CONWIP	78.527±0.329 15	83.65%	78.527±0.329 15	75.50%	79.063±0.394 15	51.73%

プル方式間の最小平均費用の比較

（SBMPIMに比べた増加率（%））

生産能力分布	A	B	C
SBMPIM	28.002±0.007	28.002±0.007	30.410±0.038
一般化かんばん方式	31.964±0.034 (6,3,6,3,6,6) 12.3%	31.964±0.034 (6,3,6,3,6,6) 12.3%	32.719±0.068 (8,3,9,3,8,6) 7.2%
基点在庫方式	31.964±0.034 (3,3,6) 12.3%	31.964±0.034 (3,3,6) 12.3%	32.719±0.068 (3,3,6) 7.2%
かんばん方式	35.058±0.174 (5,3,5,3,5,3) 19.7%	35.058±0.174 (5,3,5,3,5,3) 19.7%	35.975±0.227 (5,3,5,3,5,3) 14.8%
ハイブリッド方式	44.282±0.190 (18,5,3,5,3) 36.5%	44.282±0.190 (18,5,3,5,3) 36.5%	45.489±0.265 (18,5,3,5,3) 32.7%
CONWIP	46.004±0.312 14 38.7%	46.004±0.312 14 38.7%	46.286±0.176 15 34.0%
参考　MRP	13473.233±2099.569	13473.233±2099.569	13473.233±2099.569