

様式6

論文目録

報告番号	甲工 乙工 第 60 号 工修	氏名	松村 一
学位論文題目	分散型ネットワークアーキテクチャに基づく大規模な公衆通信ネットワーク		
論文の目次			
第1章 緒論			
第2章 分散型公衆通信ネットワークの性能特性			
第3章 分散型公衆通信ネットワークのコスト評価			
第4章 分散型公衆通信ネットワークの信頼性評価			
第5章 結論			
参考論文			
主論文			
1. 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, 小川 聰, “分散型ネットワークアーキテクチャDONAIに基づくネットワークの性能特性,” 信学論(B-I), vol. J81-B-I, no. 12, pp. 817-826, 1998.			
2. 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, “制御系と通話路系を分離した通信ネットワークのコスト評価,” 信学論(B), vol. J83-B, no. 4, pp. 434-445, 2000.			
3. 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, “制御系と通話路系を分離した通信ネットワークの信頼性とコスト有効性,” 信学論(B), vol. J83-B, no. 8, pp. 1135-1147, 2000.			
副論文			
1. Hajime Matsumura, Shigeki Yamada, and Minoru Kubota, “Evaluation of Call-Processing Performance in a Network based on Distributed Switching and Control,” Proc. CNDS '99 (Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference '99), pp. 187-197, U.S.A., Jan. 1999.			
2. Shigeki Yamada, Masato Matsuo, Hajime Matsumura, Ichizo Kogiku, and Minoru Kubota, “Emplementation and Evaluation of a Distributed Processing Network with Separated Switching and Control Nodes,” IEICE Trans. Commun., vol. E82-B, no. 6, pp. 886-896, 1999.			
3. Hajime Matsumura, Shigeki Yamada, Minoru Kubota, and Satoshi Ogawa, “Performance Characteristics in Network Based on Distributed Object-oriented Network Architecture: DONA,” ECJ (Electronics and Communications in Japan) Part 1, vol. 83, no. 7, pp. 81-91, 2000.			

様式7

論文内容要旨

報告番号	甲工 乙工 第 60 号 工修	氏名	松村 一
学位論文題目	分散型ネットワークアーキテクチャに基づく大規模な公衆通信ネットワーク		
内容要旨	<p>大規模な公衆通信ネットワークは、ライフラインとしての使命をもつほか、さまざまな経済活動を行ううえで必要不可欠なものとなっている。このため、同時接続性、実時間性、高信頼性、が求められている。近年、マルチメディアサービスの発展と、低価格の計算機や携帯端末の出現により、公衆通信ネットワークの利用形態が多様化している。このため、さまざまな通信サービスの迅速な提供と経済的な通信コストに対する要求がますます高まっている。このような要求に応えるために、分散型ネットワークアーキテクチャによる大規模公衆通信ネットワークの構築が有効である。</p> <p>本論文では、分散型ネットワークアーキテクチャに基づく大規模な公衆通信ネットワークの性能特性、ネットワーク構築コスト、ネットワークの信頼性とそのコスト有効性を明らかにするとともに、従来型の公衆通信ネットワークと比較して、低コストで高信頼性を得る分散型公衆通信ネットワークの構成方法について明らかにする。</p> <p>本論文は、以下のよう構成される。</p> <p>第1章は、結論として、従来型と分散型ネットワークアーキテクチャについて概説し、分散型ネットワークアーキテクチャに基づく大規模な分散型公衆通信ネットワークに期待される効果について述べる。</p> <p>第2章～第4章は、大規模な分散型公衆通信ネットワークの評価に関するものである。まず、第2章では、小規模分散配置した多数のノードシステムから構成される分散型公衆通信ネットワークの呼処理量や呼処理時間という呼処理の性能特性を明らかにする。更に、そのときの分散型公衆通信ネットワークのコスト評価を行う。その結果、低コストで高い呼処理量と短い呼処理時間を実現するための分散型公衆通信ネットワークの構築条件を明らかにする。</p> <p>第3章では、従来型の公衆通信ネットワークと分散型公衆通信ネットワークをネットワーク構築コストの観点から相対比較する。これにより、分散型公衆通信ネットワークの経済的効果とその要因を解析する。その結果、従来型の大規模な公衆通信ネットワークに比べて、分散型公衆通信ネットワークが経済的に優位性をもち、それを向上するためのネットワーク構築条件について明らかにする。</p> <p>第4章では、分散型公衆通信ネットワークの信頼性と、冗長構成削減による信頼性のコスト有効性を明らかにし、従来型の公衆通信ネットワークと比較評価することで、高信頼性で優れたコスト有効性となる分散型公衆通信ネットワークの構成条件を明らかにする。</p> <p>第5章は、結論で、本研究で得られた成果についてまとめるとともに、今後の研究課題について言及する。</p>		

分散型ネットワークアーキテクチャに
基づく大規模な公衆通信ネットワーク

2000年11月

松村 一

分散型ネットワークアーキテクチャに 基づく大規模な公衆通信ネットワーク

(A Large-scale Public-telecommunications Network Based on a Distributed Object-oriented Network Architecture)

2000年11月

松村 一

内容梗概

大規模な公衆通信ネットワークは、ライフラインとしての使命をもつほか、さまざまな経済活動を行ううえで必要不可欠なものとなっている。このため、同時接続性、実時間性、高信頼性、が求められている。

近年、マルチメディアサービスの発展と、低価格の計算機や携帯端末の出現により、公衆通信ネットワークの利用形態が多様化している。このため、さまざまな通信サービスの迅速な提供と経済的な通信コストに対する要求がますます高まっている。このような要求に応えるために、分散型ネットワークアーキテクチャによる大規模公衆通信ネットワークの構築が有効である。

本論文では、分散型ネットワークアーキテクチャに基づく大規模な公衆通信ネットワークの性能特性、ネットワーク構築コスト、ネットワークの信頼性とそのコスト有効性を明らかにするとともに、従来型の大規模公衆通信ネットワークと比較して、低コストで高信頼性を得る分散型公衆通信ネットワークの構成方法について明らかにする。

本論文は以下のように構成される。

第1章は、緒論として、従来型と分散型ネットワークアーキテクチャについて概説し、分散型ネットワークアーキテクチャに基づく大規模な分散型公衆通信ネットワークに期待される効果について述べる。

第2章～第4章は、大規模な分散型公衆通信ネットワークの評価に関するものである。まず、第2章では、小規模分散配置した多数のノードシステムから構成される分散型公衆通信ネットワークの呼処理量や呼処理時間という呼処理の性能特性を明らかにする。更に、そのときの分散型公衆通信ネットワークのコスト評価を行う。その結果、低コストで高い呼処理量と短い呼処理時間を実現するための分散型公衆通信ネットワークの構築条件を明らかにする。

第3章では、従来型の公衆通信ネットワークと分散型公衆通信ネットワークをネットワーク構築コストの観点から相対比較する。これにより、分散型公衆通信ネットワークの経済的効果とその要因を解析する。その結果、従来型の大規模な公衆通信ネットワークに比べて、分散型公衆通信ネットワークが経済的に優位性をもち、それを向上するためのネットワーク構築条件について明らかにする。

第4章では、分散型公衆通信ネットワークの信頼性と、冗長構成削減による信頼性のコスト有効性を明らかにし、従来型の公衆通信ネットワークと比較評価することで、高信頼性で優れたコスト有効性となる分散型公衆通信ネットワークの構成条件を明らかにする。

第5章は、結論で、本研究で得られた成果についてまとめるとともに、今後の研究課題について言及する。

関連発表論文

【主論文】

1. 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, 小川 聡, “分散ネットワークアーキテクチャ DONA に基づくネットワークの性能特性,” 信学論 (B-I), vol. J81-B-I, no. 12, pp. 817-826, 1998.
2. 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, “制御系と通話路系を分離した通信ネットワークのコスト評価,” 信学論 (B), vol. J83-B, no. 4, pp. 434-445, 2000.
3. 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, “制御系と通話路系を分離した通信ネットワークの信頼性とコスト有効性,” 信学論 (B), vol. J83-B, no. 8, pp. 1135-1147, 2000.

【副論文】

1. Hajime Matsumura, Shigeki Yamada, and Minoru Kubota, “Evaluation of Call-Processing Performance in a Network based on Distributed Switching and Control,” Proc. CNDS '99 (Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation Conference '99), pp. 187-197, U.S.A., Jan. 1999.
2. Shigeki Yamada, Masato Matsuo, Hajime Matsumura, Ichizo Kogiku, and Minoru Kubota, “Implementation and Evaluation of a Distributed Processing Network with Separated Switching and Control Nodes,” IEICE Trans. Commun., vol. E82-B, no. 6, pp. 886-896, 1999.
3. Hajime Matsumura, Shigeki Yamada, Minoru Kubota, and Satoshi Ogawa, “Performance Characteristics in Network Based on Distributed Object-oriented Network Architecture: DONA,” ECJ (Electronics and Communications in Japan) Part 1, vol. 83, no. 7, pp. 81-91, 2000.

【その他（学術論文，国際会議）】

1. Yasuhiro Uosaki, Hajime Matsumura, Shinji Wakasa, and Takshi Moryiyoshi, "Compression of nitro-compounds at pressures up to 150 MPa and at the temperatures 298.15K and 323.15K," J. Chem. Thermodynamics, vol. 22, pp. 313-318, 1990.
2. Yasuhiro Uosaki, Hajime Matsumura, Hideki Ogiyama, and Takashi Moryiyoshi, "Compressions of some nitriles under pressures up to 150 MPa at 298.15K," J. Chem. Thermodynamics, vol. 22, pp. 797-801, 1990.
3. Hajime Matsumura, Hiroshi Sunaga, Keiichi Koyanagi, and Suynroku Kasuga, "Highly Reliable On-line Partial File Modification for Office Data Provisioning in NOSES," Proc. IEEE GLOBECOM '94, pp. 1238-1242, U.S.A., Nov. 1994.
4. Tetsuyasu Yamada, Keiichi Koyanagi, and Hajime Matsumura, "NOSES Object-oriented Switching Software in C++ Non-stop Service Enhanceable Software," Proc. IEEE GLOBECOM '94, pp. 828-832, U.S.A., Nov. 1994.
5. Tetsuyasu Yamada, Hajime Matsumura, and Hiroshi Sunaga, "Reliable Real-time Software Structure for Distributed Switching Nodes," Proc. GLOBECOM '94, pp. 495-499, U.S.A., Nov. 1994.
6. Hajime Matsumura, Hiroshi Sunaga, and Keiichi Koyanagi, "NOSES Office Data Provisioning Technology," Proc. IEICE APCC '95, pp. 603-607, Japan, June 1995.
7. Hiroshi Sunaga, Hajime Matsumura, Takashige Hayashi, and Kenji Nishigawara, "Automatic Code Production of Office Data Handling Programs for Switching Systems," IEICE Trans. Commun., vol. E-81-B, no. 10, pp. 1831-1839, 1998.

【その他（研究会，講演発表）】

1. 松村 一，須永 宏，春日俊六，小柳恵一，"機能追加を考慮した所データ変更方法の検討，" 93 信学会秋季大会，B-496，pp. 3-134，1993.
2. 松村 一，春日俊六，石橋竜也，小野博道，"論理アドレス空間を用いたデータ引き継ぎ方法の一検討，" 94 信学会春季大会，B-607，pp. 3-102，1994.
3. 石橋竜也，松村 一，須永 宏，春日俊六，"TMN における局データ管理方式の検討，" 94 信学会秋季ソサエティ大会 B-499，pp. 97，1994.
4. 林 隆茂，松村 一，春日俊六，小柳恵一，"ファイル更新時における所

- データ作成方式に関する一考察，" 94 信学会秋季ソサエティ大会，B-507，pp. 105，1994.
5. 石橋竜也，須永 宏，松村 一，林隆 茂，"局データプロビジョニングの為の高信頼オンラインファイル変更方式の検討，" 信学技報 SSE 94-180，vol. 94，no. 451，pp. 1-6，1995.
 6. 山田茂樹，松村 一，"分散ネットワークアーキテクチャ DONA の性能評価シミュレーション，" 信学技報，SSE-97-74，vol. 97，no. 242，pp. 37-42，1997.
 7. 山田茂樹，松村 一，"制御系，通話系分離型ネットワーク DONA- α のコスト評価モデルの構築，" 信学技報，SSE-98-51，vol. 98，no. 240，pp. 1-6，1998.
 8. 松村 一，久保田 稔，"通信ネットワーク模擬システム，" 信学技報，SSE-98-55，vol. 98，no. 240，pp. 25-30，1998.
 9. 松村 一，久保田 稔，"通信ネットワーク模擬システム，" 98 信学会総合大会 B-6-75，pp. 75，1998.
 10. 中村隆幸，松村 一，田中 聡，"通信ネットワーク模擬システムにおけるノード間通信の実現方式，" 98 信学会総合大会 B-6-76，pp. 76，1998.

目次

内容梗概	i
関連発表論文	iii
目次	vii
図目次	xi
表目次	xiii
第1章 緒論	1
第2章 分散型公衆通信ネットワークの性能特性	7
2.1 緒言	7
2.2 性能評価方法	8
2.2.1 性能評価モデル	8
2.2.2 性能評価指標	10
2.2.3 機能分担のモデル化	11
2.3 評価と考察	13
2.3.1 性能評価諸元	13
2.3.2 コミュニティの構成	14
2.3.3 性能特性	18
2.3.4 コストパフォーマンス	25
2.4 結言	26

第3章	分散型公衆通信ネットワークのコスト評価	29
3.1	緒言	29
3.2	大規模公衆通信ネットワークへの適用	29
3.3	コスト評価方法	31
3.3.1	コスト評価指標	31
3.3.2	性能とコストの関係	32
3.3.3	呼制御式	33
3.4	モデル化とコスト算出	33
3.4.1	ネットワークのモデル化	33
3.4.2	ネットワークのコスト算出	37
3.5	評価と考察	40
3.5.1	コスト評価諸元	40
3.5.2	コスト評価結果	40
3.6	結言	51
第4章	分散型公衆通信ネットワークの信頼性評価	53
4.1	緒言	53
4.2	大規模分散型公衆通信ネットワークの構成	54
4.3	信頼性評価方法	55
4.3.1	信頼性評価指標	55
4.3.2	ネットワークの評価モデル	56
4.3.3	有効加入者率と相対コスト有効性の算出	58
4.3.4	故障率の算出	61
4.4	評価と考察	62
4.4.1	信頼性評価諸元	62
4.4.2	信頼性評価結果	64
4.5	結言	75
第5章	結論	77

謝辞	81
参考文献	83
付録	87

図目次

図 1.1	従来型と分散型ネットワークアーキテクチャ	2
図 2.1	分散型公衆通信ネットワーク	8
図 2.2	性能評価モデル	9
図 2.3	キューイングモデル	10
図 2.4	呼処理の機能分担モデル	12
図 2.5	最大スループットとボトルネック (CN = 10 BIPS)	15
図 2.6	通話路系ノードの制御台数と機能分担	16
図 2.7	通話路系ノードの伝送路数と機能分担	18
図 2.8	機能分担によるメッセージレイテンシーの比較 (CN = 10 BIPS)	19
図 2.9	CNのプロセッサ能力によるメッセージレイテンシーの比較 (Rcn = 0.2)	20
図 2.10	機能分担による1コールレイテンシーの比較 (CN = 10 BIPS)	21
図 2.11	CNのプロセッサ能力による1コールレイテンシーの比較 (Rcn = 0.2)	22
図 2.12	空間伝搬遅延を考慮した1コールレイテンシー	24
図 2.13	ネットワークコストと機能分担	26
図 3.1	大規模公衆通信ネットワークの構成	30
図 3.2	大規模公衆通信ネットワークのコスト評価モデル	34
図 3.3	ノードの装置構成モデル	35
図 3.4	伝送路接続モデル	36
図 3.5	式(3)を用いた相対コストの結果 (Rcm = 40, H = 180 s)	42
図 3.6	式(4)を用いた相対コストの結果 (Rcm = 40, H = 180 s)	45
図 3.7	式(3)を用いた相対コストの結果 (Rcm = 5, H = 180 s)	46

図目次

図 3.8	式 (4) を用いた相対コストの結果 ($R_{cm} = 5, H = 180 \text{ s}$)	47
図 3.9	式 (3) を用いた相対コストの結果 ($R_{cm} = 40, H = 1800 \text{ s}$)	48
図 3.10	式 (3) を用いた相対コストの結果 ($R_{cm} = 40, H = 180 \text{ s}$, リンクコスト 1/100)	49
図 3.11	式 (3) を用いた相対コストの結果 ($R_{cm} = 40, H = 180 \text{ s}$, 加入者ライ ンコスト 1/100)	50
図 3.12	式 (4) を用いた相対コストの結果 ($R_{cm} = 40, H = 180 \text{ s}$, 加入者ライ ンコスト 1/100)	51
図 4.1	大規模な従来型と分散型公衆通信ネットワークの構成	55
図 4.2	大規模公衆通信ネットワークの評価モデル	57
図 4.3	冗長構成 I での有効加入者率 ($R_{cm} = 40$)	65
図 4.4	冗長構成 I での相対コスト有効性 ($R_{cm} = 40$)	66
図 4.5	冗長構成 II での有効加入者率 ($R_{cm} = 40$)	67
図 4.6	冗長構成 II での相対コスト有効性 ($R_{cm} = 40$)	68
図 4.7	DNW の冗長構成 II での定常アベイラビリティ	69
図 4.8	冗長構成 III での有効加入者率 ($R_{cm} = 40$)	70
図 4.9	冗長構成 III での相対コスト有効性 ($R_{cm} = 40$)	71
図 4.10	冗長構成 I での有効加入者率 ($R_{cm} = 5$)	73
図 4.11	冗長構成 I での相対コスト有効性率 ($R_{cm} = 5$)	73
図 4.12	冗長構成 III での有効加入者率 ($R_{cm} = 5$)	74
図 4.13	冗長構成 III での相対コスト有効性 ($R_{cm} = 5$)	74
図 A.1	1 重化構成装置のマルコフ状態遷移図	89
図 A.2	2 重化構成装置のマルコフ状態遷移図	90

表目次

表 2.1	制御系ノードの伝送路数と機能分担	17
表 3.1	評価パラメータ	41
表 3.2	分割数と SN の加入者数	41
表 3.3	集約数と CN が制御する加入者数	41
表 4.1	分割数と SN の加入者数	63
表 4.2	集約数と CN が制御する加入者数	63
表 4.3	冗長構成パラメータ	64

第 1 章

緒 論

大規模な公衆通信ネットワークは、ライフラインとしての使命をもつほか、さまざまな経済活動を行ううえで必要不可欠なものとなっている。このため、同時接続性、実時間性、高信頼性、が求められている [1].

近年、マルチメディアサービスの発展と、低価格の計算機や携帯端末の出現により、公衆通信ネットワークの利用形態が多様化し、ネットワークの高機能化、オープン化、カスタマイズ化など、ネットワークに対する新しい要求が次々と出現している。更に、多様な通信サービスの迅速な提供と経済的な通信コストに対する要求もますます高まってきている。このような要求に応えるために、分散型ネットワークアーキテクチャ (Distributed Object-oriented Network Architecture: DONA)[2]-[4] の大規模公衆通信ネットワークへの適用が有効である [5]-[7].

図 1.1 に従来型ネットワークアーキテクチャと分散型ネットワークアーキテクチャを示す。

分散型ネットワークアーキテクチャは、ATM (Asynchronous Transfer Mode) や STM (Synchronous Transfer Mode) 交換機に代表されるノードシステム (以下、ノードと略記) の制御系 (Control subsystem) と通話路系 (Switching subsystem) を分離し、それぞれ制御系ノード (Control node) と通話路系ノード (Switching node) としてネットワーク上に再配置する。

制御系ノードには高性能なプロセッサを適用し、通話路系ノードは小容量化することで加入者の近傍に分散配置する。このように分散配置した多数の小容量通話路系ノードと少数の高性能な制御系ノードが協調して呼処理を行う。制

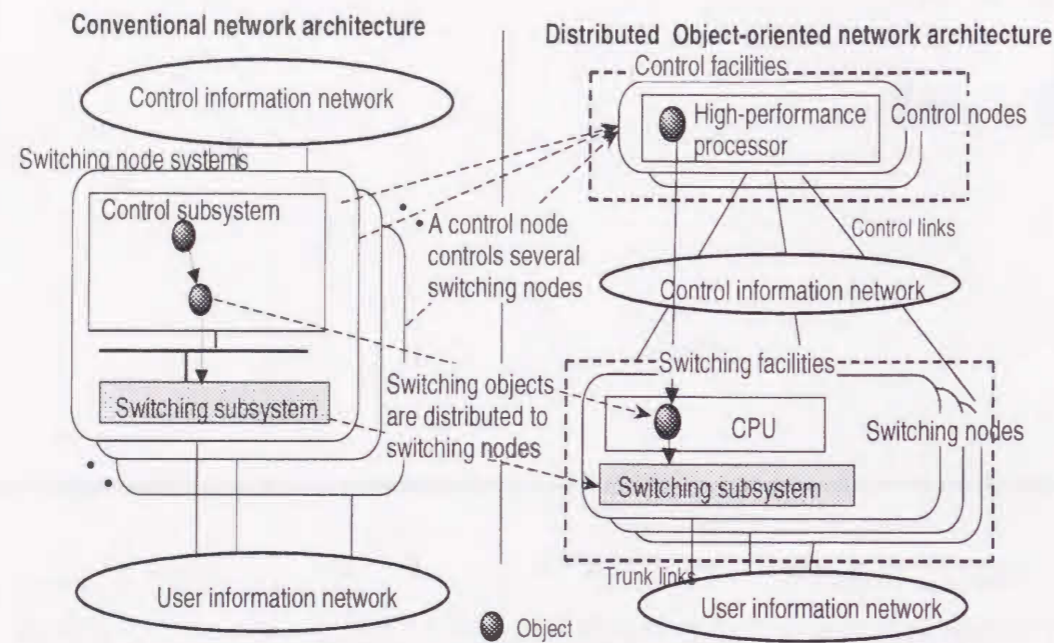


図 1.1 従来型と分散型ネットワークアーキテクチャ

御系ノードと通話路系ノードは、制御用ネットワーク (Control information network) で相互接続する。制御用ネットワークは ATM を用い、制御系ノードと通話路系ノード間を PVC (Permanent Virtual Channel) あるいは SVC (Switched Virtual Channel) によって接続する。これにより任意の制御系ノードが任意の通話路系ノードを制御する。その結果、柔軟で信頼性と経済性の優れたネットワークの構築を図る。

制御系ノードと通話路系ノードには、それぞれ分散処理環境 (Distributed Processing Environment: DPE)[8]-[11] を導入し、ネットワーク分散透過性を確立する。分散透過性の中心機能は、ソフトウェアオブジェクトの物理的位置を隠蔽する位置透過性機能 (Location transparency)、ソフトウェアオブジェクトが移動しても他に影響を与えない移送透過性機能 (Migration transparency)、システム機能を停止せずにシステム規模の変更を行える規模透過性機能 (Scale transparency)、である。これにより、ネットワークを構成するハードウェアリソースとソフトウェアリソースの有効活用を促進し、多様なマルチメディアサービスへの迅速な対応と、ネットワーク構成の変更や機能追加の容易化を図る。

以上の構成により、分散型ネットワークアーキテクチャに基づく大規模な分

散型公衆通信ネットワークは、以下の効果が期待できる [4]-[7]。

- (1) 通話路系ノードを加入者の近傍に配置することによるネットワークアクセス系のコスト削減
- (2) 制御系ノードの共用化によるネットワークコスト削減
- (3) 制御系と通話路系の独立ノード化による経済性と信頼性のバランスの向上
- (4) 制御系ノードと通話路系ノードを独立して増設/置換によるネットワーク構成変更の柔軟性向上
- (5) 分散処理環境による多様な通信サービスの迅速な提供

本研究では、分散型公衆通信ネットワークの性能特性、ネットワーク構築コスト、ネットワークの信頼性とそのコスト有効性を明らかにするとともに、従来型の大規模公衆通信ネットワークと比較して、低コストで高信頼性を得る大規模分散型公衆通信ネットワークの構築方法について明らかにすることを目的とする。

分散型公衆通信ネットワークは、従来型ノードの制御系と通話路系を分離し、それぞれ独立ノードしてネットワーク上に分散配置している (図 1.1)。このため、従来型の公衆通信ネットワークでは、制御系と通話路系間の制御情報がノード内のシステムバスで伝達されていたのに対して、分散型公衆通信ネットワークでは制御系ノードと通話路系ノード間の制御用ネットワークを用いて送受される。これにより、従来なかったネットワークを介した制御情報の送受信処理やその伝達遅延に起因する通信処理遅延が現れ、呼処理性能への影響が懸念される。また、制御系ノードと通話路系ノード間での呼処理の機能分担の違いによる呼処理性能の影響も明らかではない。そこで、第 2 章では (a) 制御系ノードと通話路系ノードの機能分担、(b) 制御系ノードと通話路系ノードのプロセッサ能力、(c) 制御用ネットワークの伝送能力、(d) 制御系ノードと通話路系ノードの地理的距離、をパラメータに制御系ノードが制御する通話路系ノードの台数と、呼処理量や呼処理時間という呼処理の性能特性をシミュレーションにより明らかにする。更に、そのときの分散型公衆通信ネットワークのコスト評価を行う。その結果、低コストで高い呼処理量と短い呼処理時間を実現するための分散型

公衆通信ネットワークの構築条件を明らかにする。

第3章では、従来型の公衆通信ネットワークと分散型公衆通信ネットワークを構成するノードの各種装置や種々の伝送路を詳細にモデル化し、両ネットワークの構築コストを相対比較する。これにより、分散型公衆通信ネットワークの経済的効果とその要因を解析する。

両ネットワークの相対比較にあたっては、(a) 従来型ノードの制御系を機能集約する制御系ノードの規模（集約数）と、従来型ノードの通話路系を小容量分散配置する通話路系ノードの規模（分割数）による分散型公衆通信ネットワークの構築コストへの影響、(b) 所要性能時の装置コストを予測する2種類の予測式を用い、従来型ノードの通話路系を小容量分散配置する通話路系ノードの分割損と、従来型ノードの制御系を機能集約する制御系ノードの集約得、の効果、(c) 制御系ノードと通話路系ノード間の呼制御信号の影響、(d) 環境条件の変化として、インターネットの普及による呼の平均保留時間の増加や伝送路の光化により伝送路コストが大幅に低減された状況下をも想定して、比較評価する。その結果、従来型の大規模な公衆通信ネットワークに比べて、分散型公衆通信ネットワークが経済的に優位性をもち、それを向上するためのネットワーク構築条件について明らかにする。

第4章では、分散型公衆通信ネットワークの信頼性とコスト有効性について、従来型の公衆通信ネットワークと比較評価した結果について述べる。

現在の大規模な公衆通信ネットワークは、ノードを構成する装置や伝送路装置の冗長構成により高信頼化を図っているのが一般的である。その反面、ネットワークのコストが高価になっている。高性能な制御系ノードが多数の小容量通話路系ノードを制御する構造の分散型公衆通信ネットワークでは、通話路系ノード当りの収容加入者数は少なくなる。このため、通話路系ノードに関する冗長構成を削減しても、ネットワークの信頼性を大幅に減少させずにコスト低減を図れる可能性がある。一方、多数の通話路系ノードを制御する制御系ノードの冗長構成削減は、ネットワークの信頼性に大きな影響をおよぼす危険がある。

そこで、分散型公衆通信ネットワークの信頼性と冗長構成との関係を明らかにする。更に、従来型公衆通信ネットワークと比較し、分散型公衆通信ネットワークの信頼性とコスト有効性について評価する。

評価にあたっては、(a) 集約数と分割数による分散型公衆通信ネットワークの信頼性とコスト有効性への影響、(b) 分散型公衆通信ネットワークを構成するノード内の各種装置や伝送路装置の冗長構成削減による影響、(c) 制御系ノードと通話路系ノード間の呼制御信号数の影響、の観点から行い、優れた信頼性とコスト有効性となる分散型公衆通信ネットワークの構築条件を明らかにする。

第5章で、本研究で得られた結果についてまとめるとともに、今後の課題について言及する。

第 2 章

分散型公衆通信ネットワークの性能 特性

2.1 緒 言

分散型ネットワークアーキテクチャ (Distributed Object-oriented Network Architecture)[1], [2]に基づく分散型公衆通信ネットワークは, 従来型ノードの制御系 (Control subsystem) と通話路系 (Switching subsystem) を分離し, それぞれ制御系ノード (Control node; 以下, CN と略記) と通話路系ノード (Switching node; 以下, SN と略記) として分散配置する (図 2.1). そのため, これらノード間の制御情報は, 従来方式のノード内処理とは異なり, CN と SN 間に設けた制御用ネットワーク (Control information network) を介して送受される. これにより, 従来なかった制御情報の送受信処理や伝達遅延に起因する通信処理遅延が現れ, 呼処理性能への影響が懸念される. また, CN と SN の呼処理の機能分担の違いによる呼処理性能の影響も明らかではない.

そこで, 本章では, 以下の (1) ~ (4) をパラメータに, CN が制御する SN の台数と, 呼処理量や呼処理時間といった呼処理の性能特性をシミュレーションにより明らかにする.

- (1) CN と SN の機能分担
- (2) CN と SN のプロセッサ能力
- (3) 制御用ネットワークの伝送能力
- (4) CN と SN の地理的距離

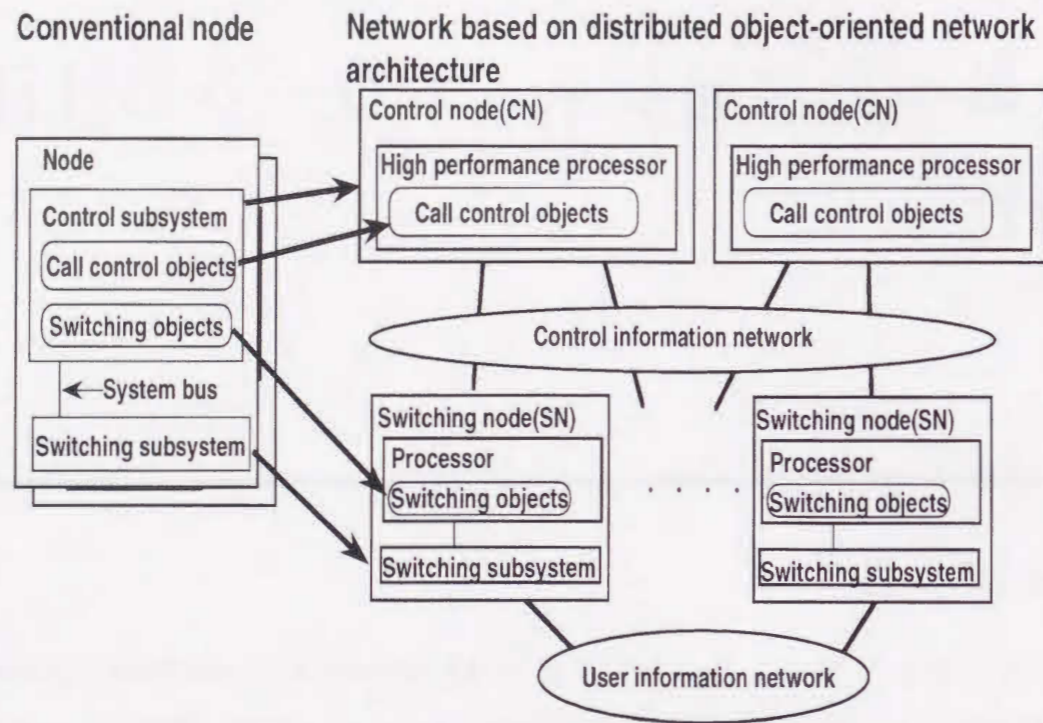


図 2.1 分散型公衆通信ネットワーク

また、このときの分散型公衆通信ネットワークのコスト評価を行う。その結果、低コストで高い呼処理量と短い呼処理時間を実現する分散型公衆通信ネットワークの構成条件について述べる。

2.2 性能評価方法

2.2.1 性能評価モデル

CN は呼の処理要求を検出すると制御メッセージを作成し、これを制御用ネットワークを介して SN に通知する。本章では、分散型公衆通信ネットワークを以下のようにモデル化する。

- (1) 1 台の CN と複数台の SN を制御用ネットワークで接続した構成をコミュ

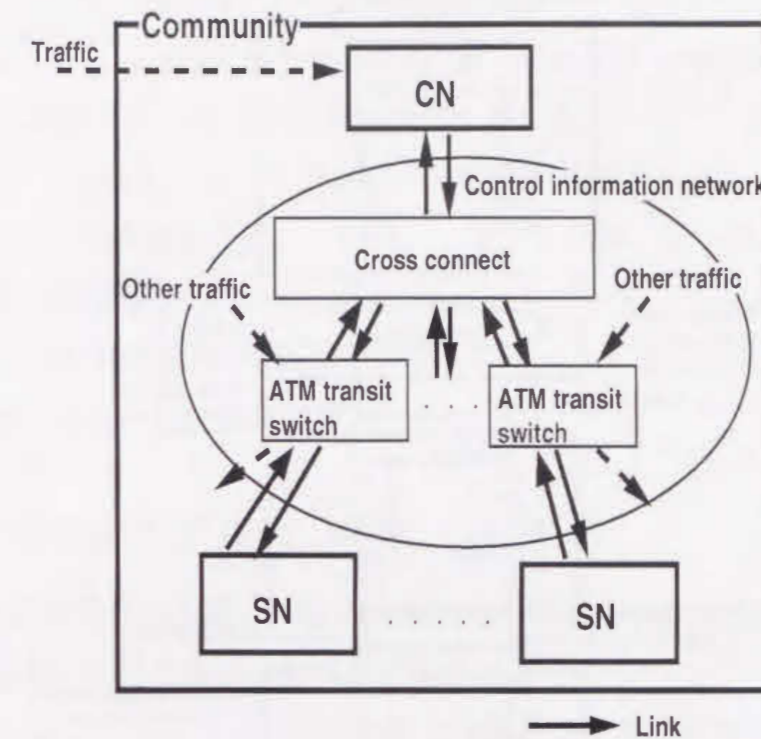


図 2.2 性能評価モデル

ニティと呼ぶ(図 2.2)。このコミュニティの集合で大規模なネットワークを構成する。

- (2) 制御用ネットワークは、CN から SN への制御メッセージと SN から CN への応答メッセージを伝達する伝送路をそれぞれ独立に構成する。
- (3) CN から SN への制御メッセージは、制御用ネットワーク内のクロスコネクでそれぞれの SN に振り分ける。クロスコネクから SN へは、1 段の ATM 中継ノードにより中継され SN に伝達する。
- (4) ATM 中継ノードには、外部からのトラヒックを加えることを可能としている。これは、ATM の帯域保証型と帯域共用型をシミュレーションを可能とするためである。

図 2.3 には、シミュレーションによる呼処理時間の評価を行うために用いるキューイングモデルを示す。

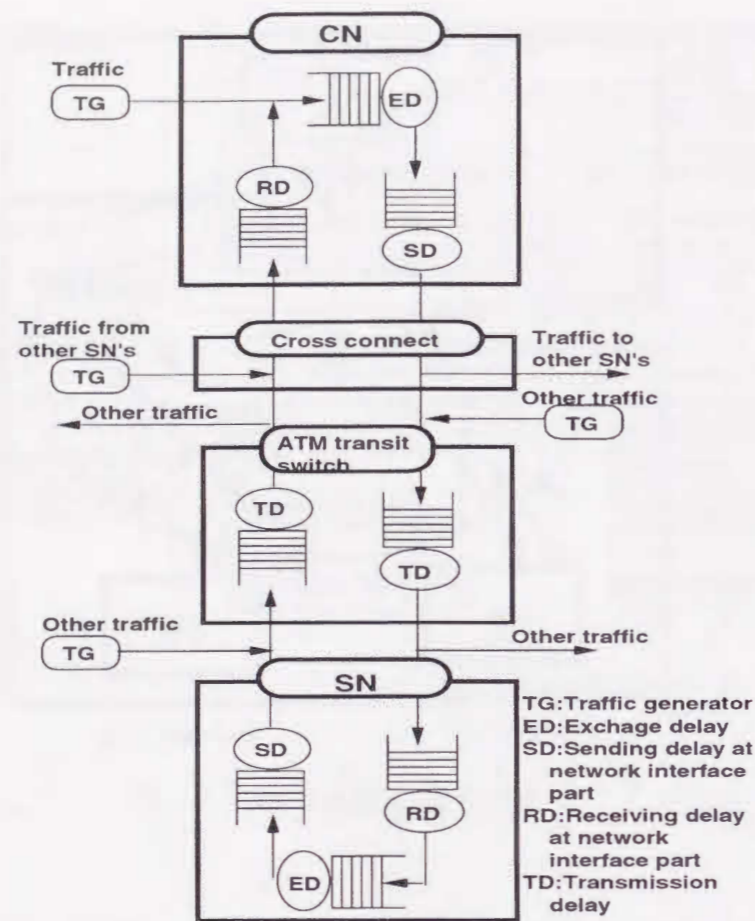


図 2.3 キューイングモデル

2.2.2 性能評価指標

分散型公衆通信ネットワークにおける呼処理の性能特性は、以下に述べる最大スループットとレイテンシーの値で評価する。

1 コールの処理を CN と SN で分担して行う場合、CN と SN の機能分担やプロセッサ能力の違いにより、CN が制御する SN の台数と呼処理量が異なる。これを明らかにするために、後述の機能分担パラメータと最大スループットを用いる。最大スループットは、CN と SN で機能分担した処理を実行する際に、CN と SN 及び伝送路それぞれで単位時間当たり処理可能な最大の制御メッセージ数である。

分散型公衆通信ネットワークでは、分散配置した CN と SN の協調により呼処

理を行う。1 コールの処理は、CN と SN 間での複数回の制御メッセージ通信により完了する。これにより、従来なかった CN と SN 間で伝送遅延等の影響が現れる。これを評価するためにレイテンシーを用いる。レイテンシーはメッセージレイテンシーと 1 コールレイテンシーの 2 種類を考える。メッセージレイテンシーは、1 コール処理のうち、1 制御メッセージに関して、CN と SN での処理時間と CN と SN 間の送受信処理遅延時間の合計である。1 コールレイテンシーは、1 コールの処理を完了するために必要な CN と SN での処理及び CN と SN 間の通信処理の総処理遅延時間である。

2.2.3 機能分担のモデル化

CN と SN の機能分担の違いによる性能特性を明らかにするために、制御系と通話路系の分離における機能分担をモデル化する。

ノードにおけるソフトウェア構成は開発の容易性や機能追加性等から階層構造になっている [3], [4]。この階層構造において、下位レイヤには、ノードを構成する装置を管理するソフトウェアとドライバソフトウェア等プリミティブな機能を提供するソフトウェアが配置されている。上位レイヤでは、これら下位レイヤの機能を用いた高度な呼処理サービスを提供する。このソフトウェア構成では、1 コール処理を行うために下位レイヤほど、数多くのメッセージを送受信している (図 2.4)。

そこで、分散型公衆通信ネットワークにおける CN と SN の機能分担のモデル化は、従来型ノードでの 1 コール当りの処理ステップ数 (Dcall)[step/call] を CN での呼処理ステップ数 (Dcall_cn)[step/call] と SN での呼処理ステップ数 (Dcall_sn)[step/call] に分離することで行う。

$$\begin{aligned} D_{call} &= D_{call_cn} + D_{call_sn} \\ &= R_{cn} \times D_{call} + (1 - R_{cn}) \times D_{call} \end{aligned}$$

where

$$R_{cn} = D_{call_cn} / D_{call}$$

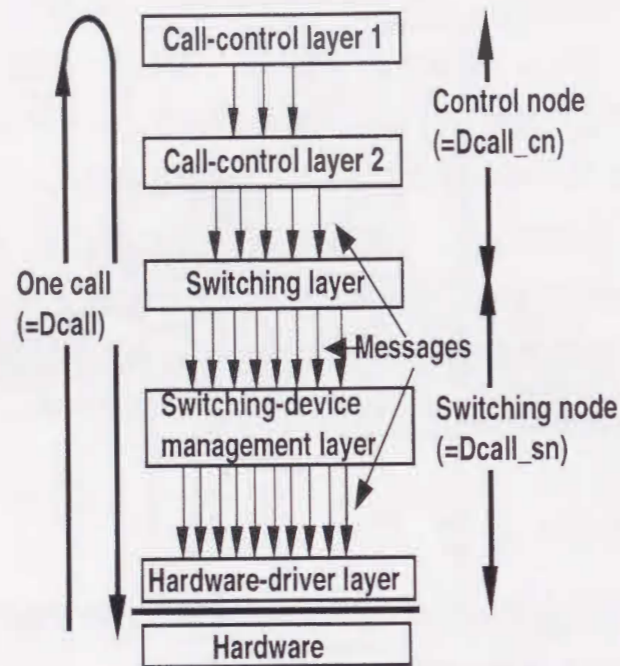


図 2.4 呼処理の機能分担モデル

$R_{cn}[-]$ は CN と SN の機能分担を意味するもので、1 コールの処理ステップ数のうち、CN で実行させるステップ数の割合を表す。これを機能分担パラメータと呼ぶ。なお、1 コールの処理ステップ数は、サービスの種類や呼処理プログラム構成等により異なる。

一方、CN と SN は、それぞれ D_{call_cn} 、 D_{call_sn} 実行中に制御メッセージの生成、読み込みを行う。制御メッセージのうち、ATM の 1 セルで伝送するデータ長を c [byte/cell] とすると、ATM の 1 セルを生成するのに必要な CN と SN での平均処理ステップ数 [step/cell] (平均セル発生間隔と呼び、それぞれ D_{i_cn} 、 D_{i_sn} で表す) と、CN と SN での呼処理ステップとは次の関係が成立する。

$$D_{call_cn} = N_m \times (L/c \times D_{i_cn})$$

$$D_{call_sn} = N_m \times (L/c \times D_{i_sn})$$

$$\therefore D_{i_cn} = c \times R_{cn} \times D_{call} / (L \times N_m)$$

$$D_{i_sn} = c \times (1 - R_{cn}) \times D_{call} / (L \times N_m)$$

ここで、 L [byte/message] は 1 制御メッセージのデータ長 (但し、 c の整数倍)、 N_m [message/call] は、ある機能分担における 1 コール当りの CN と SN 間の制御メッセージ数である。

2.3 評価と考察

2.3.1 性能評価諸元

性能評価に用いる諸元を示す。

(1) プロセッサ能力

プロセッサ能力は方式技術や微細加工技術の進展による向上が期待されている [5], [6]。そこで、CN のプロセッサ能力は 100 MIPS (Million Instructions Per Second)、1 BIPS (Billion Instructions Per Second)、10 BIPS とし、そのメモリアクセスタイムを各プロセッサ能力に応じて、それぞれ 10, 1, 0.1 ns として評価する。SN は多数配置するため、低価格のプロセッサによりネットワーク全体のコスト低減をねらい、そのプロセッサ能力は 10 MIPS、メモリアクセスタイムは 100 ns で評価する。

プロセッサ構成は、内部キャッシュメモリをもつ構成を前提としているが、単純化と安全サイド (性能劣化側) の評価を行うため、制御メッセージを記憶するメモリをアクセスする場合にキャッシュミスが生じ、それ以外はキャッシュヒットするものと仮定する。

(2) 伝送路

前述のように制御用ネットワークは ATM を前提にしており、その伝送路の帯域は、現在の低速、中速、高速に対応して、それぞれ、25, 155, 622 Mbit/s の場合で評価する。

(3) 機能分担パラメータと制御メッセージ数

機能分担パラメータ (R_{cn}) は 0.2, 0.5, 0.7 の場合で評価する。 $R_{cn} = 0.5$ は、従来型のノードの 1 コール処理ステップの半分を CN と SN に機能分担することを意味しており、 $R_{cn} = 0.7$ は、1 コールの 70% の処理を CN で行うことを意味する。

1 コールの処理に必要な CN と SN 間の制御メッセージ数 (N_m) は、従来型の加入者ノードの制御系と通話路系で必要な 1 コールの処理ステップと、そのときの制御メッセージ数に基づき、機能分担パラメータ 0.2, 0.5, 0.7 それぞれに対応して 30, 200, 400 message/call とする。

(4) 1 コールの処理ステップは従来型の加入者ノードの 1×10^5 step/call を用いる。

(5) CN と SN 間の 1 制御メッセージのデータ長 (L) は 32 byte/message, 応答メッセージ長は 4 byte/message とする。

(6) CN と SN 間の通信メカニズムと DPE のオーバーヘッドは、分散ノードアーキテクチャ MESCAR での値を用いる [7], [8].

2.3.2 コミュニティの構成

コミュニティのパフォーマンスを最大にするには CN, SN, 伝送路, それぞれの処理能力を最大限に活用できる構成にすることが肝要である。そこで, 最大スループットの観点からボトルネックの発生条件を示し, 各処理能力を最大限に活用するコミュニティの構成方法について述べる。

(1) ボトルネックの発生

ボトルネックの発生は, 一例として, CN のプロセッサ能力 10 BIPS, 機能分担パラメータが 0.5, SN へ接続する伝送路能力は 155 Mbit/s と 25 Mbit/s の場合を図 2.5 に示す。

図 2.5 の縦軸には, (a) SN の最大スループット, (b) SN へ接続する伝送路の最大スループット, (c) SN1 台に対する CN の最大スループット, をそれぞれ ATM セル数に換算して示している。横軸には CN が制御する SN の台数を示している。(a) ~ (c) のうちいちばん小さいスループットがボトルネックとなり, そこでコミュニティの最大スループットを低下させる要因となる。

SN に 155 Mbit/s の伝送路を用いた場合, CN が 100 台未満の SN を制御するときは (図 2.5 の区間 (a)), CN の最大スループットが伝送路と SN の最大スループットを大きく上回っている。したがって, この場合, 10 BIPS の CN の処理能力は過剰であり, 低性能のプロセッサを具備した CN で SN を制御すべきである。

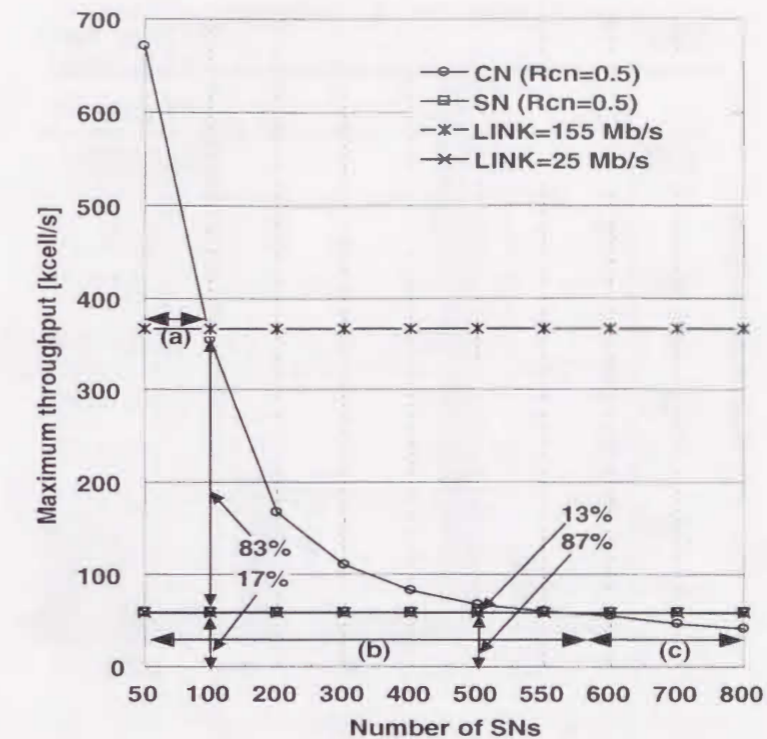


図 2.5 最大スループットとボトルネック (CN = 10 BIPS)

CN が制御する SN の台数が 577 台 (図 2.5 の区間 (b)) までは, SN の最大スループットが CN や 155 Mbit/s の伝送路に比べて小さいために SN がボトルネックになる。SN によるこのボトルネック (図 2.5 の区間 (b)) は, SN が 100 台の場合には CN の最大スループットの 17% で, SN が 500 台の場合では 87% で発生するため, CN のスループットはそれぞれ 83% と 13% が余剰になる。一方, SN が 577 台以上 (図 2.5 の区間 (c)) では, CN のスループット不足がボトルネックとなり, SN や伝送路のスループットが余剰である。

25 Mbit/s の伝送路を SN に接続する構成では, 577 台の SN を制御するときにボトルネックは発生せず, CN, SN, 伝送路の各処理能力が最も有効に活用していることがわかる。

このように CN と SN 及び伝送路の最大スループットのバランスを図ることで, 各処理能力を最も有効に活用できるコミュニティを構成できる。このコミュニティを均衡コミュニティと呼ぶ。以下, 本章では均衡コミュニティの構成とその性能特性を論じる。

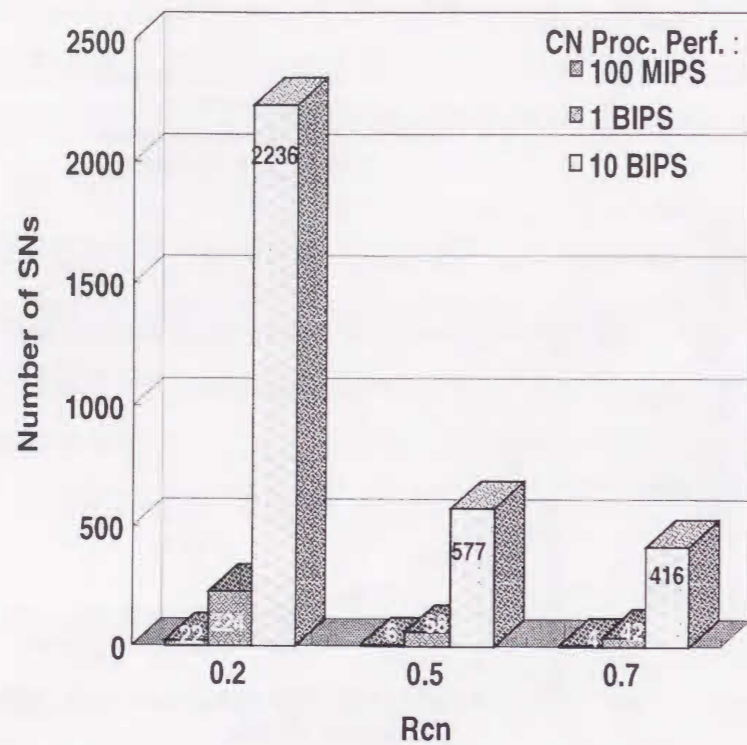


図 2.6 通話路系ノードの制御台数と機能分担

(2) 通話路系ノードの制御台数

均衡コミュニティを構成するために、1台のCNが制御するSNの台数について、CNのプロセッサ能力と機能分担の関係を図2.6に示す。

当然のことながら、CNのプロセッサ能力が増加すればSNの制御台数は増加する。留意すべきは、機能分担の影響が大きい点である。例えば、10 BIPSのCNでは、機能分担に依存してSNの台数は2236台～416台まで大きく変わる。機能分担パラメータが0.2から0.7に増加すると、制御するSNの台数は2/7以下に減少する。これはCNの機能分担の増大に伴い、制御メッセージ数が多くなり、CN、SNそれぞれの制御メッセージ送受信処理が増えることに起因している。実際の分散型公衆通信ネットワークではさまざまなアプリケーションが実行されるため、このような単純な議論にはならないが、メッセージ数がSNの制御台数に大きく影響することに留意してネットワーク構成を考慮すべきであることがわかる。

表 2.1 制御系ノードの伝送路数と機能分担

Rcn	0.2	0.5	0.7
CN=100 MIPS			
25 Mb/s	3.879	5.685	6.205
155 Mb/s	6.235×10^{-1}	9.137×10^{-1}	9.973×10^{-1}
622 Mb/s	1.559×10^{-1}	2.285×10^{-1}	2.493×10^{-1}
CN=1 BIPS			
25 Mb/s	3.879×10	5.685×10	6.205×10
155 Mb/s	6.235	9.137	9.973
622 Mb/s	1.559	2.285	2.493
CN=10 BIPS			
25 Mb/s	3.879×10^2	5.685×10^2	6.205×10^2
155 Mb/s	6.235×10	9.137×10	9.973×10
622 Mb/s	1.559×10	2.285×10	2.493×10

(3) 制御系ノードと通話路系ノードの伝送路

CNへ接続する伝送路の必要本数について、CNのプロセッサ能力と機能分担との関係を示す(表2.1)。

表2.1からわかるようにCNのプロセッサ能力が高く、また、CNの機能分担が増大するほど、CNに接続する伝送路数が増加する。これは、平均セル発生間隔が減少し、制御用ネットワークに送出するATMセル数が増加するためである。SNに接続する伝送路数についても機能分担パラメータの増加に伴いSNに接続する伝送路数が増えるが、これもSNでの平均セル発生間隔が減少するためである(図2.7)。

このように、機能分担パラメータを増大させるとCN、SNそれぞれに接続する伝送路能力を大きくする必要がある。CNが必要とする伝送路能力がSNに比べてはるかに大きいことから、伝送路リソースの有効利用とコスト低減には、CNでは広帯域を保証する伝送路を使用し、その直後にクロスコネクタ等により

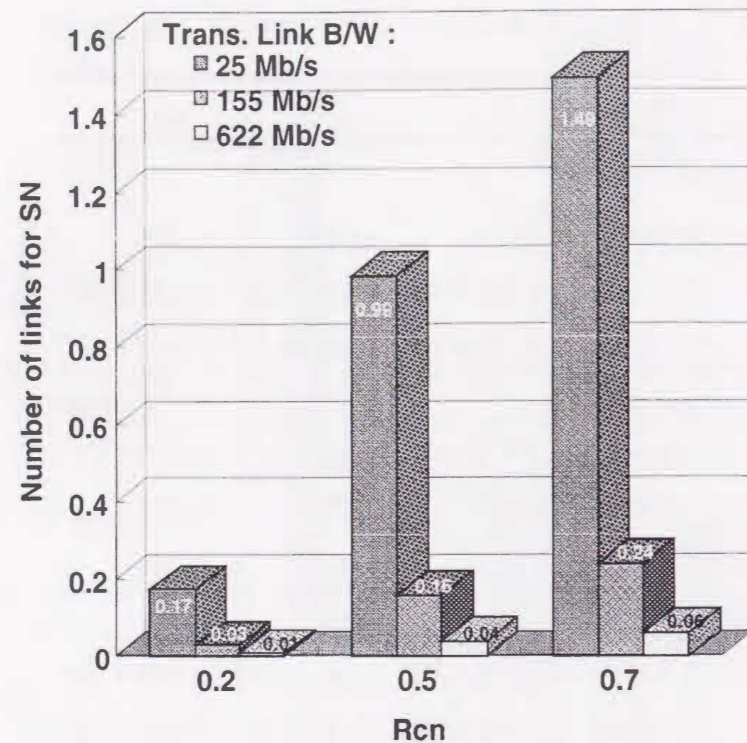


図 2.7 通話路系ノードの伝送路数と機能分担

制御メッセージを分配する。SN では狭帯域だが経済的な 25 Mbit/s あるいは 155 Mbit/s の伝送路で終端することが重要となる。

以上より、均衡コミュニティは次の構成にする必要がある。

- (a) CN の機能分担が大きなコミュニティでは、制御する SN の台数を少なくすること。また、CN と各 SN へ接続する伝送路能力はそれぞれ増加すること。
- (b) 高性能な CN のプロセッサ能力をもつコミュニティでは、制御する SN の台数を多くすること。また、CN へ接続する伝送路能力も増加すること。
- (c) CN では広帯域を保証する伝送路を使用し、その直後にクロスコネクタ等により制御メッセージを分配すること。
- (d) SN では、狭帯域の伝送路で接続すること。

2.3.3 性能特性

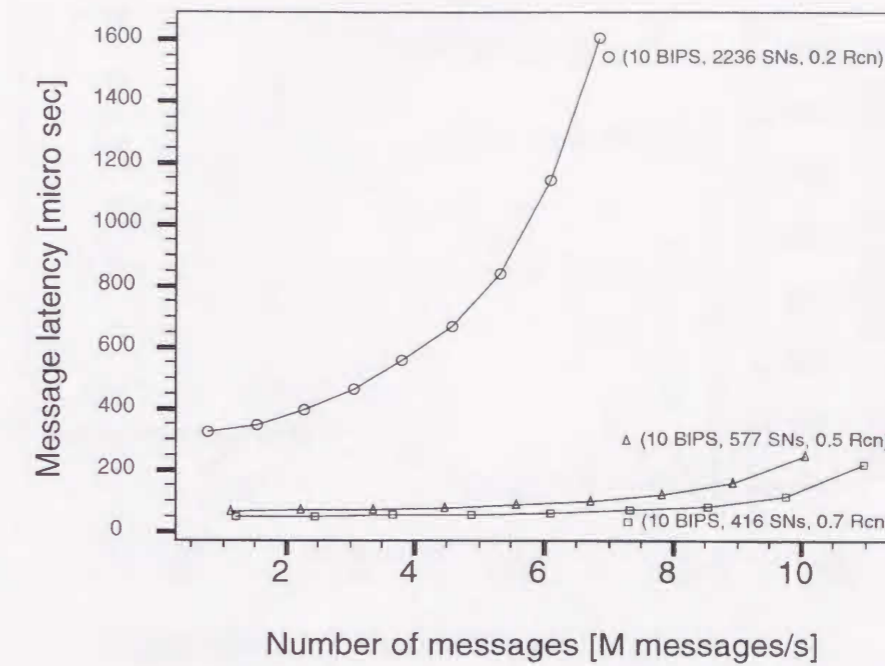


図 2.8 機能分担によるメッセージレイテンシーの比較 (CN = 10 BIPS)

レイテンシーと呼処理量に関する性能特性を明らかにするために、図 2.3 のキューイングモデルを用いてシミュレーションを行った結果を示す。ここでは、前節の結果に基づきコミュニティの処理能力を最も有効に活用できる均衡コミュニティで、制御用ネットワーク内の ATM 中継ノードは帯域保証型について述べる。

(1) 近距離配置

(a) メッセージレイテンシーと処理量

CN と SN を近距離配置する場合 (空間伝搬遅延時間は 0)、10 BIPS の CN での機能分担の違いによるメッセージレイテンシーを図 2.8 に示す。

メッセージレイテンシーは、CN の機能分担が大きいほど小さく、処理可能な制御メッセージ数も多くなる。これは、高性能なプロセッサを具備した CN での機能分担を大きくすると、低性能なプロセッサを備える SN での処理ステップが減り、1 制御メッセージ当りのトータル処理時間が減るためである。図 2.9 には機能分担が同じで、CN のプロセッサ能力の差異によるメッセージレイテンシー

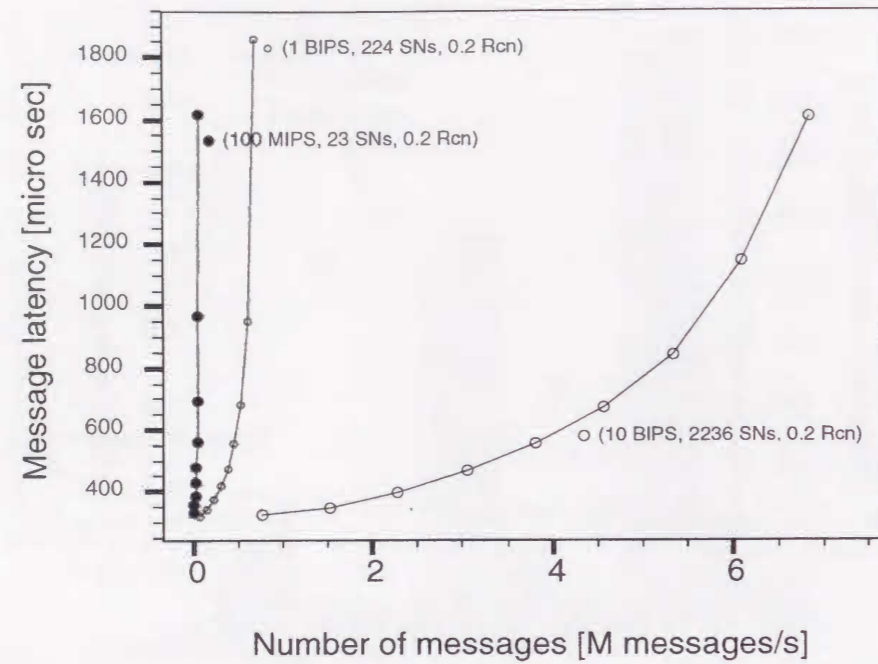


図 2.9 CN のプロセッサ能力によるメッセージレイテンシーの比較 (Rcn = 0.2)

を示す。メッセージレイテンシーは CN のプロセッサ能力が大きいほど、小さなレイテンシーになり、処理可能なメッセージ数も多くなる。

以上より、均衡コミュニティでは SN に比べ CN のプロセッサ能力と CN の機能分担を大きくすることで、低いメッセージレイテンシーと高い処理量が得られる。

(b) 1 コールレイテンシーと呼処理量

10 BIPS の CN で機能分担の違いによる 1 コールレイテンシーと呼処理量の変化を図 2.10 に示す。CN の機能分担が大きいほど、1 コールレイテンシーの増加が急激で、低い呼処理量で輻輳が発生する。これは CN の機能分担が大きくなると、均衡コミュニティを構成する SN の台数が少ないのが一因である (図 2.6)。しかし、例えば、Rcn が 0.7 と 0.5 の均衡コミュニティは、それぞれ 416 台、577 台の SN で構成されているが、輻輳が発生する呼処理量は、それぞれ約 100 Mcall/hr と約 200 Mcall/hr であり、SN の台数が 1.38 倍に増えたのに過ぎないのに対し

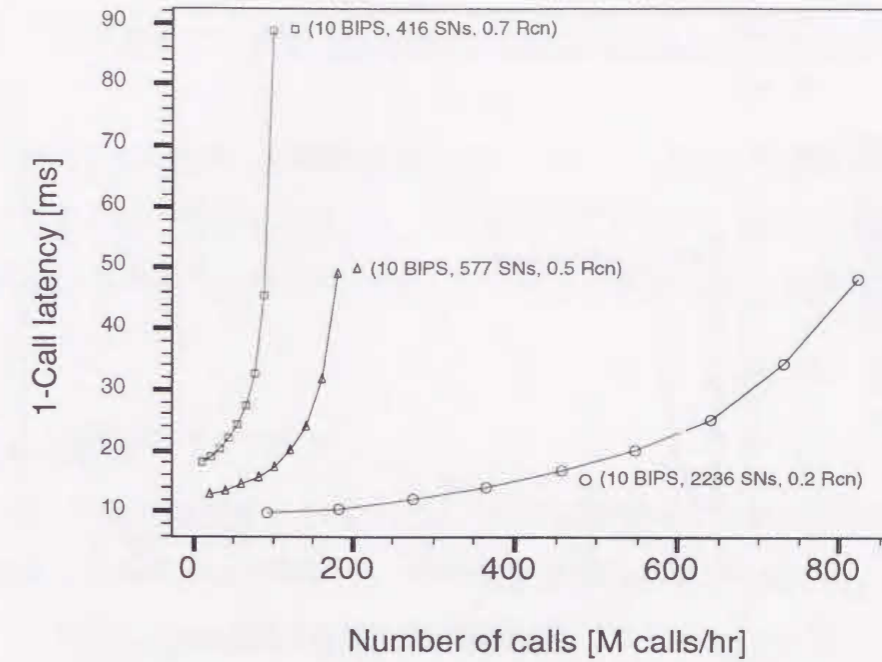


図 2.10 機能分担による 1 コールレイテンシーの比較 (CN = 10 BIPS)

て呼処理量は約 2 倍になることは留意すべき現象である。これは、機能分担パラメータが 0.7 から 0.5 に減ると、CN での呼処理の分担量と制御メッセージ数の減少により CN での処理ステップが減少し、CN で処理可能な呼処理量を増加させる。それに伴い、均衡コミュニティとなるために SN の台数が増加する。この SN 台数の増加に比べて CN での処理ステップ減少に伴う呼処理量増加への寄与 (特に制御メッセージ数の減少による影響) が大きいため発生した現象である。このように、CN のプロセッサ能力が同じ均衡コミュニティでは、CN の機能分担の小さいほうが呼処理量が大きく、同じ呼処理量では 1 コールレイテンシーが小さくなる。

図 2.11 には、CN のプロセッサ能力の違いによる 1 コールレイテンシーと呼処理量を示す (Rcn = 0.2)。併せて、CN が 100 MIPS, Rcn = 0.7 の場合も示す。CN のプロセッサ能力が大きいほうが、多くの呼処理を扱え、かつ、1 コールレイテンシーも小さくなる。

以上より、均衡コミュニティでは、SN に比べて CN のプロセッサ能力を大きくし、同じプロセッサ能力の均衡コミュニティでは、CN の機能分担を小さくす

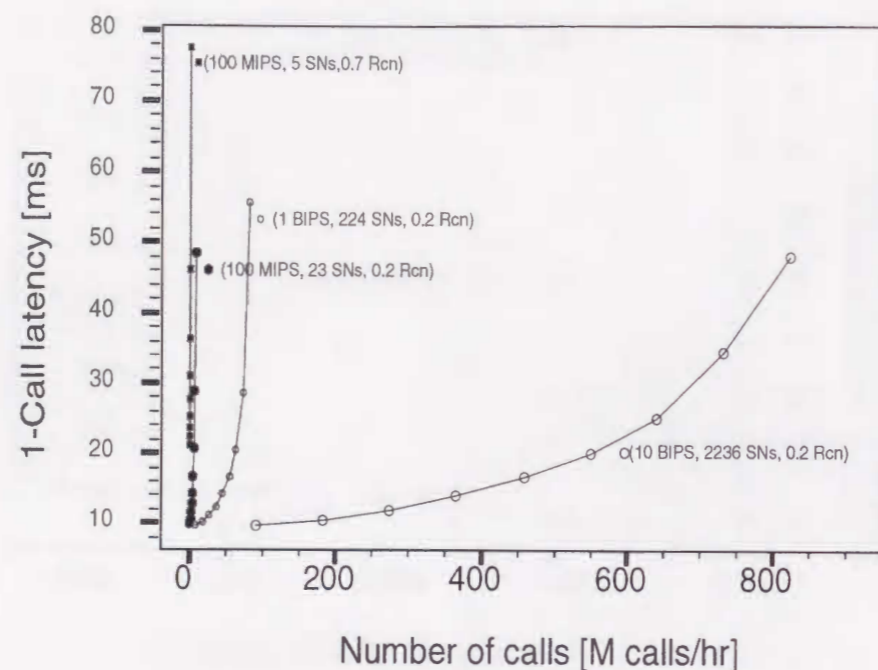


図 2.11 CN のプロセッサ能力による 1 コールレイテンシーの比較 ($R_{cn} = 0.2$)

るほうが、1 コールレイテンシーが小さく、また、高い呼処理量を得られることがわかる。

(c) 1 コールレイテンシーとメッセージレイテンシーの比較

1 コールレイテンシーとメッセージレイテンシーの性能特性を比較すると、ともに CN のプロセッサ能力の大きいほうが性能的に有利である (図 2.9, 図 2.11)。

しかし、メッセージレイテンシーは、CN の機能分担を大きくすると、小さく、かつ、高い処理量を得られるのに対して (図 2.8)、1 コールレイテンシーは CN の機能分担を小さくしたほうが有利 (図 2.10) という反対の特性は注目すべきである。これは、CN の機能分担を大きくすると、高性能なプロセッサを備えた CN での呼処理ステップは増え、低性能なプロセッサをもつ SN でのそれは減少するため、メッセージレイテンシーは小さくなる。一方、1 コールレイテンシーに関しては、CN の機能分担の増加に伴い 1 コール処理に要する CN と SN 間の制御メッセージ数が増えるので、高性能な CN と低性能な SN 共通に必要な制御

メッセージ送受信処理の増加と制御用ネットワークでの処理遅延の増加により、少ない呼処理量で大きな 1 コールレイテンシーという性能特性を生じた結果である。

したがって、CN と SN の機能分担においては、プロセッサ能力の違いや呼処理ステップの分担の割合に加えて、1 コールに対する CN と SN 間の制御メッセージ数を最小にするように呼処理のソフトウェアを設計することが非常に重要となる。

(2) 遠距離配置

CN と SN を遠距離配置する場合には、空間伝搬遅延が無視できなくなる。そこで、均衡コミュニティについて、空間伝搬遅延の影響を考慮した 1 コールレイテンシーを図 2.12 に示す。空間伝搬遅延時間は $5 \mu\text{s}/\text{km}$ とする。

CN のプロセッサ能力の違いで比較すると、同じ機能分担の均衡コミュニティでは、プロセッサ能力が大きいほうが 1 コールレイテンシーは小さく呼処理量が大きくなる (図 2.12(a-1), (a-2))。

CN のプロセッサ能力が同じ均衡コミュニティでは、当然ではあるが、CN と SN の地理的平均距離が長くなるに従い、1 コールレイテンシーは増大する (図 2.12 (b-1), (b-2), (b-3), (b-4))。しかし、同じプロセッサ能力の CN を具備する場合でも、CN の機能分担が少ないほうが同じ 1 コールレイテンシーで遠距離の SN を制御できる。例えば、 $R_{cn} = 0.2$ の均衡コミュニティが 700 km 離れた SN を制御する 1 コールレイテンシーで、 $R_{cn} = 0.5$ のそれは 1/7 の 100 km 離れた SN を制御できるのに過ぎない (図 2.12 (b-2), (c))。CN と SN 間の地理的平均距離が同じ均衡コミュニティでは、CN の機能分担が小さいほど、1 コールレイテンシーが小さく、多くの呼処理ができる。更に、CN の機能分担が小さいほど、1 コールレイテンシーの上昇の度合いは小さい (図 2.12 (a-2), (b-4), (c))。

このことから、CN の機能分担が小さい均衡コミュニティのほうが、安定した低い 1 コールレイテンシーで多くの呼処理ができることがわかる。これは、CN の機能分担を大きくすると制御メッセージ数が増加し、制御用ネットワークに送出する ATM セル数が増加するため、各 ATM セルごとに空間伝搬遅延が影響

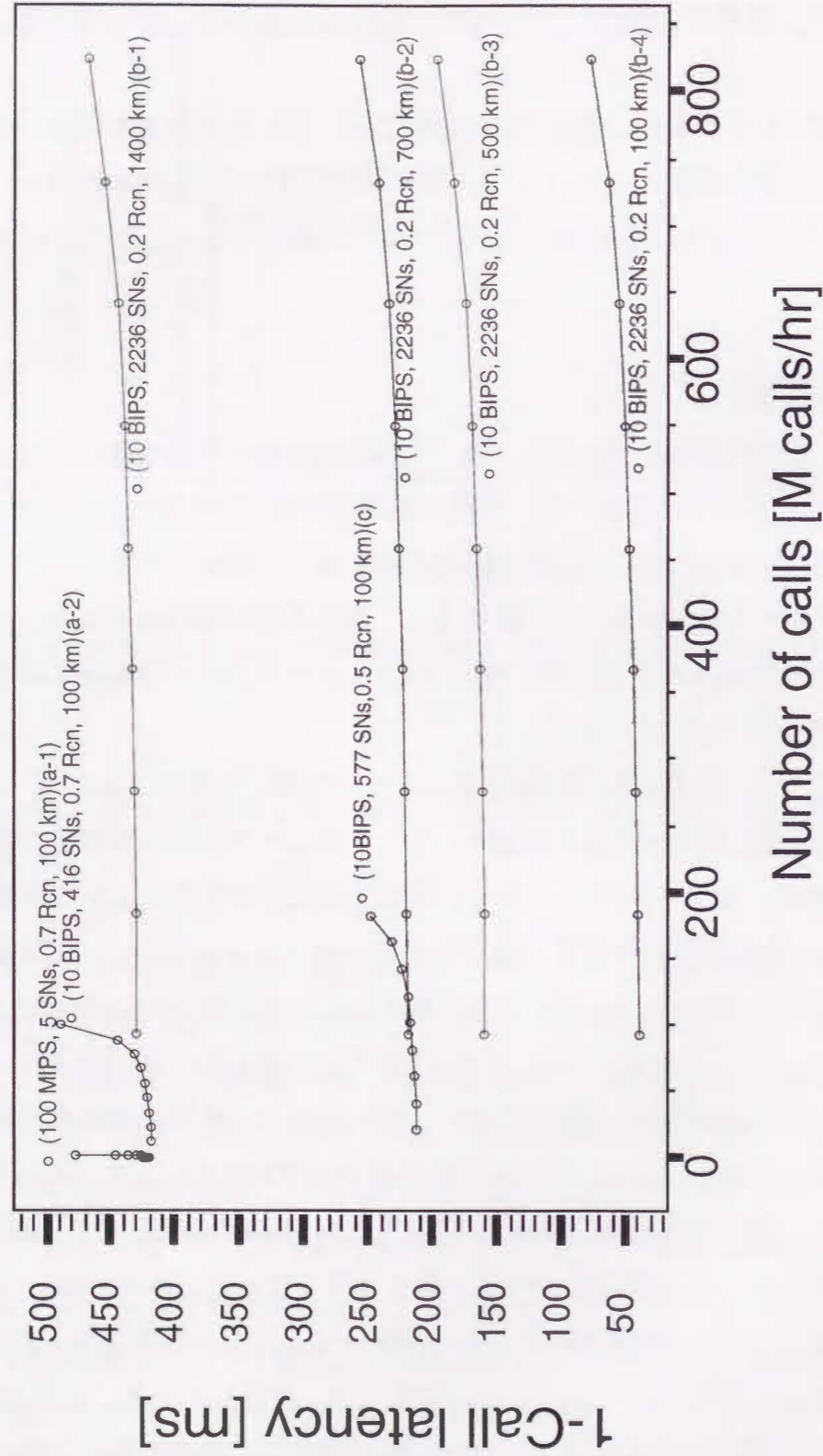


図 2.12 空間伝搬遅延を考慮した 1 コールレイテンシー

することに起因している。したがって、CN の機能分担が少ないほうが空間伝搬遅延の影響を受けにくく、広範囲なエリアに散在している SN を低い 1 コールレイテンシーで制御可能となる。

以上より、空間伝搬遅延の影響を考慮した場合でも均衡コミュニティでは、CN の機能分担が小さく CN のプロセッサ能力が高いほど、高い呼処理量を得られ、1 コールレイテンシーも低くなり遠距離の SN を制御できることが分る。

2.3.4 コストパフォーマンス

本節では単位時間当りの呼処理量を基準に均衡コミュニティのコスト評価を行い、2.3.3 の結果と合わせてコストパフォーマンスの良い分散型公衆通信ネットワークの構成について述べる。

CN, SN のプロセッサ能力の違いによるノードのコストは Grosch の法則 [9] に従うとする。CN と SN の地理的平均距離は同じとし、近距離配置における SN に接続する伝送路のコストは、SN のコストと等価とする。遠距離配置における SN に接続する伝送路コストは、近距離配置の場合の 10 倍とする。なお、クロスコネクタ及び CN とクロスコネクタ間の伝送路のコストは考慮していない。

CN のプロセッサ能力が 10 BIPS, Rcn = 0.2 の均衡コミュニティにおける単位時間当りの呼処理量のコストを、1 としたときのネットワークコストと機能分担の関係を図 2.13 に示す。

近距離配置、遠距離配置ともに、CN の機能分担が大きく、CN のプロセッサ能力が小さいほど、コスト高になる。また、CN のプロセッサ能力が高い均衡コミュニティと低い均衡コミュニティのコスト差は、CN の機能分担が大きくなるほど、大きくなり、低いプロセッサ能力を備える均衡コミュニティのほうがよりコスト高になる。したがって、CN の機能分担が小さく、CN のプロセッサ能力が高い均衡コミュニティがコスト的に有利である。特に、CN の機能分担が大きい場合には、高性能なプロセッサ能力の CN を備えた均衡コミュニティにすることが重要となる。

遠距離配置では、SN に接続する伝送路のコストが支配要素となるため、機能分担や CN のプロセッサ能力の違いによる均衡コミュニティ構築コストへの影響

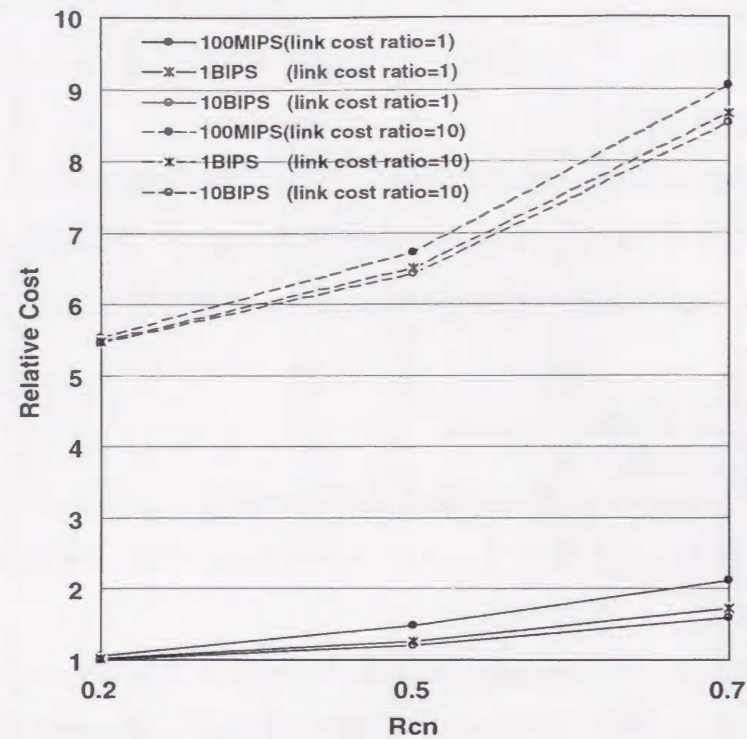


図 2.13 ネットワークコストと機能分担

は小さくなる。

以上より、CN と SN 間の地理的距離にかかわらず、CN の機能分担が小さく、CN のプロセッサ能力の高い均衡コミュニティが低コストで構築できる。また、遠距離になるほど、伝送路のコストが支配的になることがわかる。

2.3.3 の結果からは、CN の機能分担の小さく、CN のプロセッサ能力が高い均衡コミュニティとすることで、短い 1 コールレイテンシーと高い呼処理量を得られる。したがって、コストパフォーマンスの優れた分散型公衆通信ネットワークは、CN の機能分担の小さく、CN のプロセッサ能力が大きい均衡コミュニティとすることである。

2.4 結 言

分散型公衆通信ネットワークのように分散配置したノードを遠隔制御する場

合の最適な構成とは、低コストで高い呼処理量と短い 1 コールレイテンシーとなる構成である。これまで示した結果から、均衡コミュニティはコミュニティを構成する制御系ノード (CN) と通話路系ノード (SN) のプロセッサ能力及び伝送路の能力を最も有効に活用できる (2.3.2)。また、CN の機能分担が小さく、CN のプロセッサ能力が大きい均衡コミュニティでは、1 コールレイテンシーと呼処理量が優れているばかりでなく、低コストになることが明らかになった。その結果、以下のように構築することで、分散型公衆通信ネットワークは、高性能で低コストなとなることがわかった。

- (1) 均衡コミュニティにする。
- (2) SN に比べて CN の機能分担を小さくする。
- (3) SN に比べて CN のプロセッサ能力を大きくする。
- (4) CN と SN 間の制御メッセージ数を少なくする。

第3章

分散型公衆通信ネットワークのコスト評価

3.1 緒言

第2章では、分散型ネットワークアーキテクチャ [1], [2] に基づく分散型公衆通信ネットワークの性能特性 [3]-[5] とそのコスト評価を行い、高性能でコストパフォーマンスの優れた分散型公衆通信ネットワークの構築条件を示した。また、分散型公衆通信ネットワークの構築にあたって、制御系ノード (CN) と通話路系ノード (SN) 間の制御情報の送受信処理やその伝達遅延に起因する呼処理性能への影響は、CN と SN が 1400 km 離れた場合でも非常に小さくできることがわかった (第2章の図 2.12)。

そこで、本章では、分散型ネットワークアーキテクチャを大規模な公衆通信ネットワークに適用し [6]、種々のコストパラメータとトラヒック条件を変化させ、従来型の公衆通信ネットワークと比較評価することで、大規模な分散型公衆通信ネットワークの経済的効果とその効果を向上させるためのネットワーク構築条件を明らかにする。

3.2 大規模公衆通信ネットワークへの適用

分散型ネットワークアーキテクチャの大規模な公衆通信ネットワークへの適用にあたり、ノードの制御系の中心装置であるプロセッサは、半導体プロセス技術と方式技術により、100 ~ 1000 BIPS (Billion Instructions Per Second) 程度の

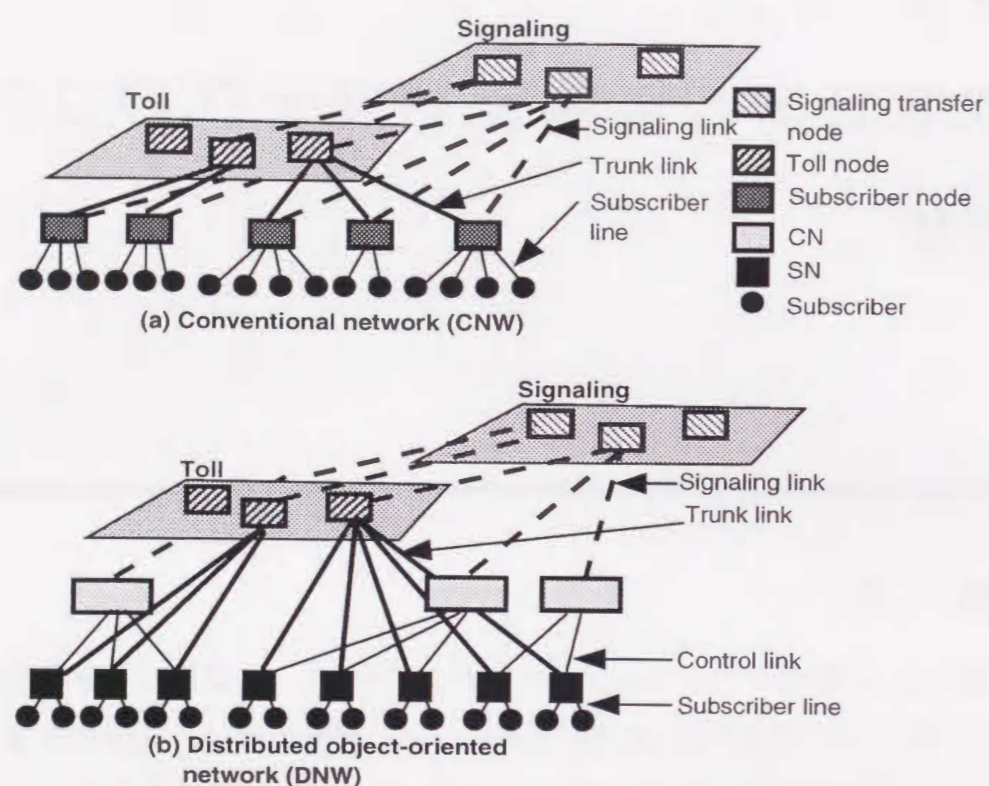


図 3.1 大規模公衆通信ネットワークの構成

超高性能なプロセッサの登場 [7], [8] が期待されている。このため、近い将来、従来型ノードの制御系の処理能力は、その通話路系が必要とする処理能力を大きく上回る状況が予想され、制御系の処理能力を他ノードでも活用できることが必要となる。

そこで、分散型公衆通信ネットワークの CN には、超高性能プロセッサを適用し、少数の CN で多数の SN を制御する。これにより、CN の共用とそれによるネットワークのコスト削減を図る。また、ノード間を接続する中継リンク等の伝送路は、トラフィック量が多く多重化されているので、単位伝送情報量当りのコストは廉価になる。その一方、各加入者に接続する加入者ラインは高価である。そこで、少容量の SN を加入者の近傍に配置することにより、加入者ライン距離の短縮と、ノードでの集線及び多重化を行いネットワーク構築コストの削減を図る。

従来型の大規模な公衆通信ネットワーク（以下、CNW と略記）では、加入者

ノードから別の加入者ノードへの呼（このようなノード外への呼を以下、ノード外呼と呼ぶ）を伝達するために中継ノード（Toll node）が配置され、中継リンク（Trunk link）を介して加入者ノードと接続されている。加入者ノードのノード外呼の呼制御信号は、信号リンク（Signaling link）を介して信号ノード（Signaling transfer node）に接続され伝達される（図 3.1(a)）。

同様に大規模な分散型公衆通信ネットワーク（以下、DNW と略記）でも中継ノード、信号ノードを設け、それらノードの構成と接続構成は CNW と同一条件とする（図 3.1(b)）。また、DNW では、CN が配下の全 SN の呼制御を一元的に行うために、CN と SN 間に新たに制御リンクを設置し、当該 SN の全呼の呼制御信号を CN に伝達する。一方、SN のノード外呼は、中継リンクを介して中継ノードに伝達され、他の SN へ伝達される。このノード外呼を制御する呼制御信号は、CN から信号リンクを介して、信号ノードにより他の SN に伝達される。

3.3 コスト評価方法

3.3.1 コスト評価指標

DNW の経済的効果の評価は、ネットワーク構築コストを用いて行う。ネットワークの構築コストは、技術革新やネットワークを配置する地域の特性によりその絶対値は変化する。このため、絶対値で評価するよりも、むしろ、相対比較によりネットワーク構成の違いによる優劣を明らかにする事が重要である。そこで、CNW と DNW の加入者 1 人当りのコストを相対比較により評価を行う。

相対比較する CNW と DNW のコストは、両者で同一条件となる中継ノードと信号ノード及びそれらのノード間接続リンクのコストを除外する。したがって、加入者当りの CNW コストを S_0 、DNW コストを S_d と表記すると以下のように定義できる。

CNW のコスト定義：

$$So = So_{nd} + So_a + So_t + So_s \quad (1)$$

DNW のコスト定義：

$$Sd = Sd_{cn} + Sd_{sn} + Sd_a + Sd_t + Sd_s + Sd_c \quad (2)$$

式 (1), (2) の各項は、加入者当りのコストで、 So_{nd} , So_a , So_t , So_s は、それぞれ CNW における加入者ノード、加入者ライン、中継リンク、信号リンク (加入者ノードと信号ノード間) のコストである。また、 Sd_{cn} , Sd_{sn} , Sd_a , Sd_t , Sd_s , Sd_c は、それぞれ、DNW の CN, SN, 加入者ライン、中継リンク、信号リンク (CN と信号ノード間)、制御リンクのコストである。

3.3.2 性能とコストの関係

高性能な制御系を備えた CN や小容量の SN のコスト等を求めるために、現在の性能とコストの関係から所要性能時のコスト推定方法について述べる。

性能とコストの関係は、性能が向上するほどコストパフォーマンスが良くなり、コストは性能の 1/2 乗に比例すると言う Grosch の経験則 [9] が知られている。現在の超高速コンピュータ [10]-[12] では相関係数 0.994 ~ 0.999 で、コストは性能の 1/2 乗 ~ 1 乗に比例している。伝送路については、相関係数 0.996 以上で、コストは性能 (帯域) の 1/1.7 乗 ~ 1/1.3 乗に比例している [13]。そこで、本章では、装置 i における性能 P のコストを推定する式 $F_c(p)_i$ をコスト関係式と呼び、式 (3) の Grosch 型コストと式 (4) の線形型コストの 2 種類を用いる。

$$F_c(P)_i = \begin{cases} \infty \sqrt{P} & \text{(Grosch's law)} & (3) \\ \infty P & \text{(Linear)} & (4) \end{cases}$$

$$i \in \{cp, sp, cm, a, L\}$$

一方、伝送路の距離とコストの関係 [13] は、所要帯域によらず相関係数 0.998 以上で距離の 1 乗に比例しているので、伝送路の距離とコストは比例するものとする。

3.3.3 呼制御式

OSI のレイヤ 3 までの処理を行う呼制御方式について、呼の接続と切断処理は、制御系と他のノードと呼制御信号の送受を行う信号系とで処理を行い、呼の接続中は通話路系のみを使用し、制御系と信号系の処理を伴わない方式とする。したがって、制御系と信号系に必要な処理能力は、完了呼、不完了呼を含めた入力呼数に依存し、通話路系に必要な処理能力 (通話路のトラヒックスループト) は通話路系への総呼量に依存する。

DNW では、分散配置した CN と SN 間で協調して呼制御を行う。CN と SN 間の呼制御信号は、CNW では加入者ノード内で処理されていたのが、DNW では CN と SN の独立ノード化により、ノード間通信になる。CN と SN 間の呼当りの呼制御信号数は、CN と SN の機能分担により異なり [5], [6], CNW の加入者ノードと信号ノード間の $R_{cm} (> 1)$ 倍必要とするものとする。このため、CN と SN の通信装置と制御リンクは、 R_{cm} 倍の処理能力を必要とする。この R_{cm} を呼制御信号増加係数と呼ぶ。

3.4 モデル化とコスト算出

3.4.1 ネットワークのモデル化

(1) 従来型公衆通信ネットワークの評価モデル

CNW の評価モデルを図 3.2(a) に示す。加入者ノードは、一辺が L の正方領域 (Subscriber area; 以下、加入者領域と呼ぶ) の中心部に 1 台配置する。加入者は、加入者領域の一辺の長さ L を N 等分した 1 辺 X の小正方領域に 1 人存在するとする。したがって、加入者領域全体で $No = (L/X)^2$ 人の加入者が存在する。各中継ノードは、一辺 QtL ($Qt > 1$) の正方領域 (Transit area) の中心に 1 台配置し、その領域内の加入者ノード Qt^2 台と中継リンクで接続する。信号ノードは一辺 QsL ($Qs > 1$) の各正方領域 (Signaling area) の中心に 1 台配置し、その領域内の加入者ノード Qs^2 台と信号リンクで接続する。

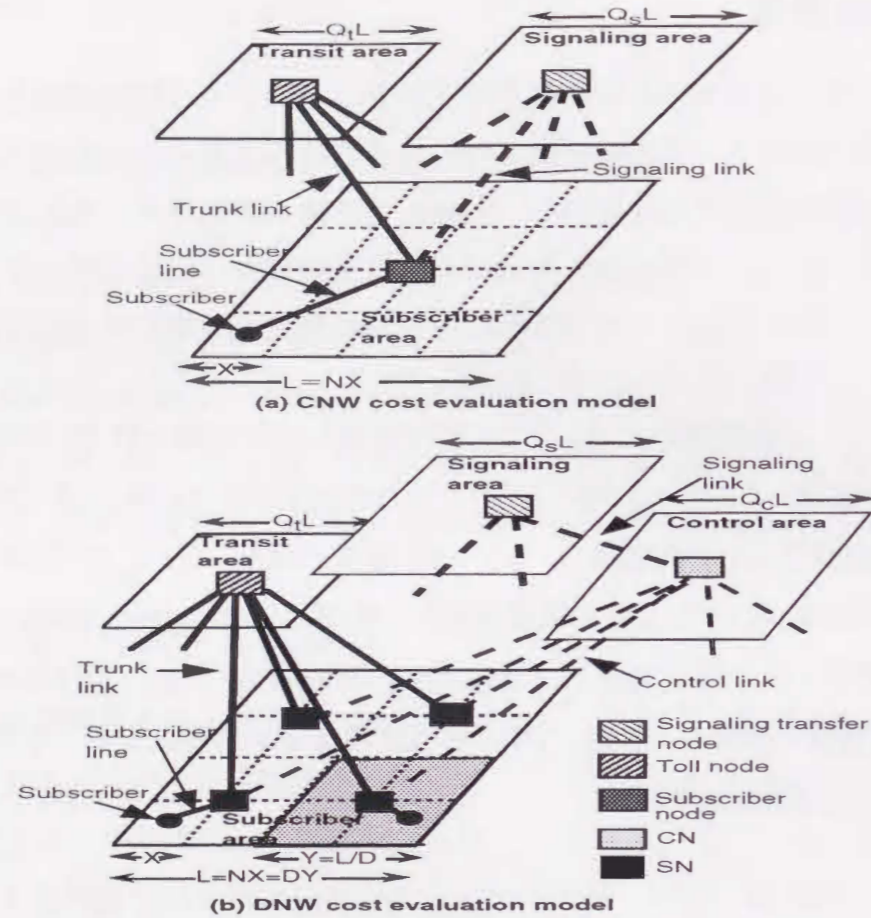


図 3.2 大規模公衆通信ネットワークのコスト評価モデル

(2) 分散型公衆通信ネットワークの評価モデル

DNW の評価モデルを図 3.2(b) に示す。SN は加入者領域の一辺を D 等分した、一辺のサイズが $Y=L/D$ の小正方領域の中心に 1 台ずつ配置し、この SN が小正方領域内の加入者を収容する。この結果、各 SN は SN の収容加入者数 $N_{sn} = N_0/D^2$ の呼を処理する。ここで、 D^2 を分割数と呼び、加入者ノードが D^2 台の小容量 SN に分割されたことを意味する。

CN は加入者領域の一辺 L を $Q_c (> 1)$ 倍した制御領域 (Control area) の中心に 1 台ずつ配置する。制御領域は加入者領域の Q_c^2 倍になるので、各 CN は加入者ノードの Q_c^2 倍の呼を制御することになる。 Q_c^2 を集約数と呼び、CN が加入者ノードの制御系を何倍集約しているかを表す。

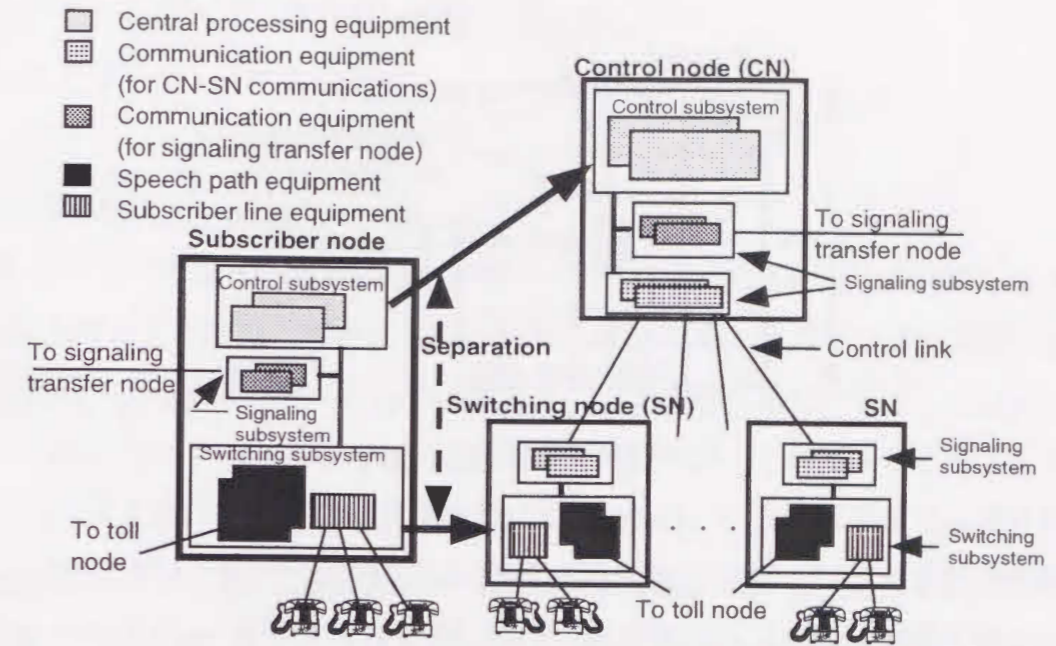


図 3.3 ノードの装置構成モデル

中継ノードと信号ノードは、それぞれ CNW と同じ大きさの正方領域に設置し、中継リンク及び信号リンクを介して、SN と CN に接続する。

(3) ノードの装置構成モデル

加入者ノードの装置構成モデルを図 3.3 に示す。

制御系 (Control subsystem) は (a) 呼制御プログラム等を実行するプロセッサとメモリを中心とする制御装置 (Central processing equipment), 通話路系 (Switching subsystem) は (b) スイッチファブリックを主要装置とする通話路装置 (Speech path equipment) と (c) 加入者ラインごとに必要な加入者回路からなる加入者装置 (Subscriber line equipment), 信号系 (Signaling subsystem) は (d) 信号ノードと呼制御信号の送受信を行う装置とそれを制御するソフトウェアを走行させるプロセッサやメモリからなる通信装置 (Communication equipment), で構成されている。

一方、CN は (e) 制御装置, (f) SN と呼制御信号の送受信を行う制御リンク通信装置, (g) 信号ノードと呼制御信号送受信を行う信号リンク通信装置, か

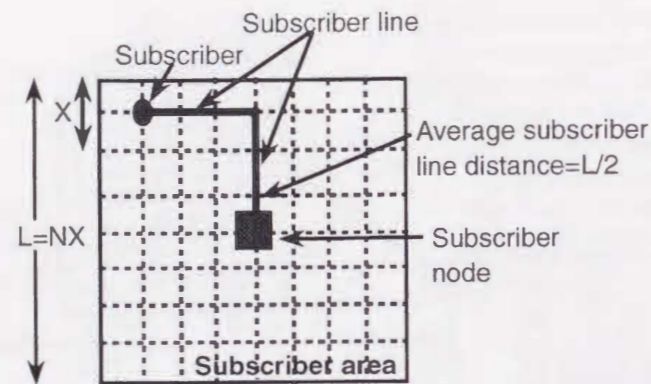


図 3.4 伝送路接続モデル

ら構成される。SN は (h) 通話路装置, (i) 加入者装置, (j) CN と呼制御信号の送受信をする制御リンク通信装置, から構成されるとする (図 3.3)。なお, 加入者ノード, CN, SN の各装置は, 加入者装置を除いてすべて 2 重化構成である。

(4) 伝送路接続モデル

各種伝送路の接続距離を決定する伝送路接続モデルを加入者ラインを例に述べる。加入者ラインは区画整備された道路に沿って設置されているとする。つまり, CNW では, 図 3.4 に示すように加入者ノードと加入者が接続している。このとき, 加入者ラインの平均距離は, $L/2$ となる (付録 3-1. 平均加入者ライン距離が $L/2$ の導出を参照)。

一方, DNW での加入者ラインは, 一辺のサイズ Y の中心に配置された SN に接続されるので (図 3.2(b)), 平均加入者ライン距離は $L/2D$ となる。これは小容量 SN の分散配置によって, 加入者ライン距離が CNW の $1/D$ 倍に縮小されることを意味する。

同様の伝送路接続モデルを中継リンク, 信号リンク, 制御リンクの各伝送路距離に適用する。これらのリンクは, 各々 2 重化構成とし, また, デジタル伝送を仮定し, 上りと下りそれぞれ別々のリンクを必要とする (両方向同時通信方式)。したがって, これらリンクのコストは, 各リンクの平均接続距離の 4 倍となる。

3.4.2 ネットワークのコスト算出

以下に式 (1), (2) の各項の算出方法を述べる。

(1) ノードのコスト

(a) 加入者ノードコスト (So_{nd})

加入者ライン当りの発着信率を発呼率と呼び Cr , 呼の平均保留時間を H と表す。加入者ノードの加入者数は No より, 加入者ノード 1 台当りの総呼量は $CrNo$, 総呼数は $CrNo/H$ となる。ここで, 加入者ノードの総呼量に対して, 別の加入者ノードへ伝達される発着信呼量の確率 Po (以下, ノード外発呼率と呼ぶ) を用いると, 加入者ノードのノード外呼数は $CrNoPo/H$ 。3.3.3 と各装置の 2 重化構成より, 加入者ノード当りの制御装置, 通話路装置, 信号リンク通信装置のコストは, それぞれ, $2F_c(CrNo/H)_{cp}$, $2F_c(CrNo)_{sp}$, $2F_c(CrNoPo/H)_{cm}$ と表せる。加入者回路の平均コストを W_a とすると, 加入者装置のコストは NoW_a となり, 次式を得る。

$$So_{nd} = (1/No)\{2F_c(CrNo/H)_{cp} + 2F_c(CrNo)_{sp} + 2F_c(CrNoPo/H)_{cm} + NoW_a\}$$

(b) CN コスト (Sd_{cn})

1 台の CN が制御する加入者数は $Ncn = (QcL/X)^2$ より, CN の制御装置コストは $2F_c(CrNcn/H)_{cp}$ となる。CN の制御リンク通信装置は, CN 制御下の全 SN の呼制御信号を一元的に処理するので, CN は $CrNsnQc^2D^2/H$ の呼を扱う。更に, 呼当り Rcm 倍の処理能力を必要とするので, CN の制御リンク通信装置コストは, $2F_c(CrNsnQc^2D^2Rcm/H)_{cm}$ となる。CN の信号リンク通信装置は, SN のノード外呼の呼制御信号を扱う。トラヒックの対称性から発信呼量と着信呼量を同じと仮定すると, SN のノード外発呼率は, $Psn = Po + (1 - Po)(1 - 1/D^2)$ となる (付録 3-2. Psn と Po の関係式の導出を参照)。したがって, CN と信号ノード間で扱う呼数は $CrNsnPsnQc^2D^2/H$ となり, CN の信号リンク通信装置コストは $2F_c(CrNsnPsnQc^2D^2/H)_{cm}$ となる。よって, 次式を得る。

$$Sd_{cn} = (1/Ncn)\{2F_c(CrNcn/H)_{cp} + 2F_c(CrNsnQc^2D^2Rcm/H)_{cm} + 2F_c(CrNsnPsnQc^2D^2/H)_{cm}\}$$

(c) SN コスト (Sd_{sn})

SN の制御リンク通信装置が処理すべき呼数は、 $CrNsn/H$ であるので、制御リンク通信装置コストは $2F_c(CrNsnRcm/H)_{cm}$ 。通話路装置と加入者装置のコストは、それぞれ、 $2F_c(CrNsn)_{sp}$ 、 $NsnW_a$ となり、次式を得る。

$$Sd_{sn} = (1/Nsn)\{2F_c(CrNsn)_{sp} + 2F_c(CrNsnRcm/H)_{cm} + NsnW_a\}$$

(2) 伝送路のコスト

(a) 加入者ラインコスト (So_a, Sd_a)

加入者ラインの所要帯域を Ba とすると、その単位距離当りのコストは $F_c(Ba)_a$ と表せ、図 3.4 より次式となる。

$$So_a = (L/2)F_c(Ba)_a$$

$$Sd_a = (L/2D)F_c(Ba)_a$$

(b) 中継リンクコスト (So_t, Sd_t)

ノード外呼量を Ao 、アーラン B 式を $E_r(Ao)$ と表すと、中継リンクの所要帯域は $BaE_r(Ao)$ となる。この帯域の中継リンクは、同一の高速伝送路に多重化されるので、単位距離当りのコストは $F_c(BaE_r(Ao))_L$ と表せる。

CNW では、中継ノード 1 台当り、 Qt^2 台の加入者ノードと中継リンクで接続し、その平均距離は、 $QtL/2$ 、加入者数は $(QtL/X)^2$ である。また、加入者ノードのノード外呼量は $CrNoPo$ なので、3.4.1 (4) で述べた中継リンクの構成より、次式を得る。

$$So_t = 4(QtL/2)F_c(BaE_r(CrNoPo))_L Qt^2 / (QtL/X)^2$$

$$= 2(X^2Qt/L)F_c(BaE_r(CrNoPo))_L$$

DNW では、1 台の中継ノードが $(QtD)^2$ 台の SN と中継リンクで接続され、その平均距離は $QtL/2$ となる。SN のノード外呼量は $CrNsnPsn$ より、次式を得る。

$$Sd_t = 4(QtL/2)F_c(BaE_r(CrNsnPsn))_L (QtD)^2 / (QtL/X)^2 \\ = 2(XD)^2 (Qt/L)F_c(BaE_r(CrNsnPsn))_L$$

(c) 信号リンクコスト (So_s, Sd_s)

帯域 Bs の信号リンクで制御可能な呼数を Nc_s と表す。CNW では、信号ノード 1 台当り Qs^2 台の加入者ノードと信号リンクで接続され、その平均距離は $QsL/2$ 、加入者数は $(QsL/X)^2$ である。加入者ノードのノード外呼量は $CrNoPo/H$ より、信号リンクの所要帯域は $BsCrNoPo/HNc_s$ となる。これが同一伝送路に多重化されるため、信号リンクの単位距離当りのコストは、 $F_c(BsCrNoPo/HNc_s)_L$ と表せ、3.4.1 (4) で述べた信号リンクの構成より、次式となる。

$$So_s = 2(QsL)X^2F_c(BsCrNoPo/HNc_s)_L$$

DNW の信号リンクは、 $CrNsnPsnQc^2D^2/H$ 呼の呼制御信号を扱う。CN と信号ノードの接続配置の関係から、CN が複数の信号ノードを収容する場合と、信号ノードが複数の CN を収容する場合の両方を考慮して、信号リンクの数は、1 辺が $\max(QsL, QcL)$ の正方領域当りでは、 $\{\max(Qs, Qc)/\min(Qs, Qc)\}^2$ 、信号リンクの平均距離は $\max(QsL, QcL)/2$ 、加入者数は、 $\{\max(QsL, QcL)/X\}^2$ である。よって、3.4.1 (4) より次式を得る。

$$Sd_s = 2\{\max(Qs, Qc)/\min(Qs, Qc)\}^2 \{X^2/\max(QsL, QcL)\} \\ \times F_c(CrNsnPsnQc^2D^2/HNc_s)_L$$

(d) 制御リンクコスト (Sd_c)

帯域 Bc の制御リンクで、制御可能な呼数を Nc_c とすると、SN の制御リンクの所要帯域は BcCrNsn/HNc_c となる。制御リンクの平均距離、CN の制御リンク数、加入者数は、それぞれ QcL/2, (QcL/Y)², (QcL/X)² なので、3.4.1 (4) より次式を得る。

$$Sd_c = 2(Qc/L)(DX)^2 F_c(BcCrNsn/HNc_c)_L$$

3.5 評価と考察

3.5.1 コスト評価諸元

表 3.1 に主な評価パラメータとその値を示す。

これは、加入者ノード 1 台が 65536 (= 2¹⁶) 人収容し、分割数 D² が 784 (最大値) では、SN 1 台の加入者数が 84 人であり (表 3.2)、小型の PBX や中規模程度のビジネスホンの規模に相当する。また、集約数 Qc² が 4 と 784 では、それぞれ、262144 人と 51380224 人の加入者を 1 台の CN が制御する規模になる (表 3.3)。

信号リンクに関しては、No.7 共通線信号方式の値である。

呼は 2 種類を想定する。1 つは POTS (Plain Ordinary Telephone Service) で、ランダム呼で呼損率 0.01、平均保留時間 H が 180 s のときの発呼率 Cr を 0.04 とする。2 つ目の呼は、マルチメディアサービス呼を想定したもので、ダイヤルアップでの WWW の閲覧などの利用により、POTS に比べて平均保留時間が長くなっていることから、H = 1800 s、Cr = 0.4 として評価する。呼制御信号増加係数 Rcm は、CN と SN の機能分担に依存する [5], [6] ので、40 と 5 の 2 種類について評価する。

3.5.2 コスト評価結果

表 3.1 評価パラメータ

L	15120 m	Cr (H)	0.04 erl (180 s)
X	59.0625 m		0.4 erl (1800 s)
Qt	2	Po	0.5
Qs	4	Ba	64 kb/s
D ²	4-784	Bs	48 kb/s
Qc ²	4-784	Rcm	40, 5

表 3.2 分割数と SN の加入者数

D ²	Number of subscribers per SN
4	16384
16	4096
64	1024
196	334
400	164
576	114
784	84

表 3.3 集約数と CN が制御する加入者数

Qc ²	Number of subscribers per CN
4	262144
64	4194304
196	12845056
400	26214400
576	37748736
784	51380224

(1) Grosch 型コストの影響

Cr = 0.04 (H = 180 s), Rcm = 40, Grosch 型コスト (式 (3)) のときの相対コストを図 3.5 に示す。縦軸の相対コストは Sd/So - 1 で、横軸は分割数 D² でプロットしている。併せて集約数 Qc² の影響も示している。相対コストが負の値は、DNW が CNW よりコスト的に有利なことを表している。

相対コストは、分割数が 16 までは減少し、その後、増加に転じ分割数が 196 以上では DNW がコスト的に不利になることがわかる。これは、DNW における

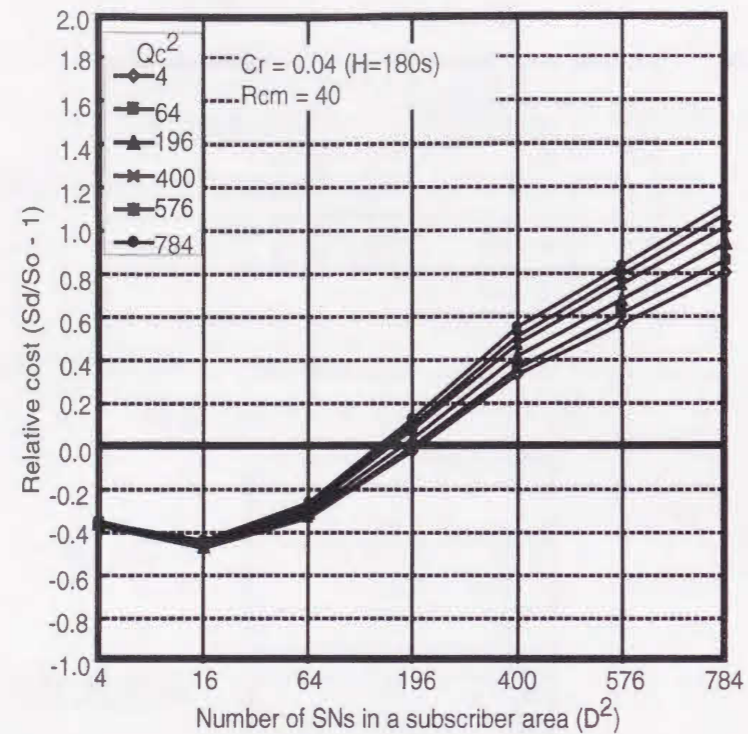


図 3.5 式 (3) を用いた相対コストの結果 ($R_{cm} = 40, H = 180 \text{ s}$)

コストの支配要素が分割数の増加により異なるために生じる。分割数が増加すると以下の現象を生じる。

- (P1) SN の小容量化 (SN の通信装置と通話路装置及び加入者装置の所要性能の減少)
- (P2) 加入者ライン距離の減少
- (P3) SN の制御リンクの所要帯域の減少と距離の増加
- (P4) SN の中継リンクの所要帯域の減少と距離の増加

分割数が 16 までは、(P2) によるコスト減少効果が大きく、相対コストを下げる支配要素となっている。一方、分割数が 16 以上では (P1), (P3), (P4) の影響が現れる。

(P1) により SN のコストは低減するが、加入者当りの SN のコスト (Sd_{sn}) は増加する。これは、SN の収容加入者数が $1/\delta$ ($\delta > 1$) 倍になると、SN の性能は

$1/\delta$ 倍程度必要になるが、Grosch 型コストにより、そのコストは $\delta^{-1/2}$ 倍にとどまるので、加入者当りのコストでは $\delta^{1/2}$ 倍になるためである。これを分割損と呼び、低価格であるが、小容量化により固定コストの割合が大きくなり、コストパフォーマンスが低下する装置構成を想定できる。

(P3) の所要帯域が減少した制御リンクは、同一伝送路へ多重化されるため、分割損の影響で加入者当りのコストは増加する。加えて、制御リンク距離が増大するので、加入者当りの制御リンクコスト (Sd_c) は増加する。

(P4) の中継リンクの所要帯域の減少は、SN の加入者数が減少するのが主要因であるが、同時にアラン B 式が意味するとおり、大群化効果の減少による所要帯域の相対的増加も含まれた結果である。所要帯域が減少した中継リンクは同一伝送路へ多重化されるため、分割損の影響が現れ、併せて、中継リンクの距離も増加するので、加入者当りの中継リンクコスト (Sd_t) は増加する。

以上より、分割数が 16 以上では、(P2) による相対コストの減少効果よりも、(P1), (P3), (P4) に起因する相対コスト増加効果が寄与し、相対コストを増加させる原因になっている。また、(P1), (P3), (P4) では (P1) の影響が支配要素となっているが、集約数が大きい場合では (P3) の影響も無視できなくなる。これは、分割数と集約数の増加で制御リンクの距離は増大し、特に集約数の影響が大きいためである。

集約数に関しては、同じ分割数のとき集約数の大きいほうが相対コストは大きくなっている。この傾向は、分割数にかかわらず同じである。また、分割数が増加するほど、集約数の小さい場合と大きな場合との相対コストの差は広がっている。これは集約数が増加すると、以下の現象を生じることに起因している。

- (P5) CN の所要性能 (制御装置と通信装置) の増加
- (P6) CN の制御リンクの所要帯域と距離の増加
- (P7) CN の信号リンクの所要帯域の増加と距離の増加

(P5) により CN のコストは増加するが、加入者当りの CN のコスト (Sd_{cn}) は減少する。これは、集約数が δ ($\delta > 1$) 倍になると、CN の所要性能とその加入者

数はそれぞれ δ 倍程度になるが、Grosch 型コストのためそのコストは $\delta^{1/2}$ 倍ですむので、加入者当りのコストは $\delta^{-1/2}$ 倍になるためである。この現象を集約得と呼び、高性能でコストパフォーマンスの良い装置で構成した場合を想定できる。

(P6) について、CN の制御リンクは各 SN と接続されているので、加入者当りの所要帯域は、分割数に依存し、集約数の増加では変化せず一定となる。このため、加入者当りの制御リンクコスト (Sd_c) は、制御リンク距離にのみ依存して増加する。

(P7) でも、集約得により、加入者当りの信号リンクコスト (Sd_s) は減少するが、それは (P5) に比べるとわずかである。

集約数を増加した場合、(P6) による相対コスト増加効果が、(P5)、(P7) による減少効果より大きく、支配要素となる。このため、集約数の小さい場合と大きな場合での相対コストの差は、分割数が大きいほど広がる。

(2) 線形型コストの影響

$Cr = 0.04$ ($H = 180$ s), $Rcm = 40$, 線形型コスト (式 (4)) のときの相対コストを図 3.6 に示す。図 3.5 と大きく異なって、分割数が増加するに伴い相対コストは単調に減少し、DNW が有利になることがわかる。

分割数が増加すると、Grosch 型コストを用いた図 3.5 では、(P1) が相対コストを増加させる支配要素であり、その原因は分割損によるものであった。しかし、線形型コストでは、分割損や集約得は起こらない。このため、図 3.6 では分割数の増加に対して、(P1) による加入者当りの SN コスト (Sd_{sn}) はほぼ一定となり、相対コストの増加要因ではなくなる。

また、(P3)、(P4) についても分割損の影響がないため、それぞれ制御リンクと中継リンクの距離増加が相対コストの増加要因となるが、その影響はわずかである。この結果、図 3.6 では、分割数の増加に伴う大幅な相対コスト増加要因はなく、その結果、(P2) が分割数増加に伴う相対コスト低減の支配要素となり、相対コストを単調に減少させている。

留意すべきは、分割数が 4 ~ 64 のときの相対コストは、図 3.6 より図 3.5 が小さくなっていることである。これは、図 3.5 の分割数 16 までは、分割損の影

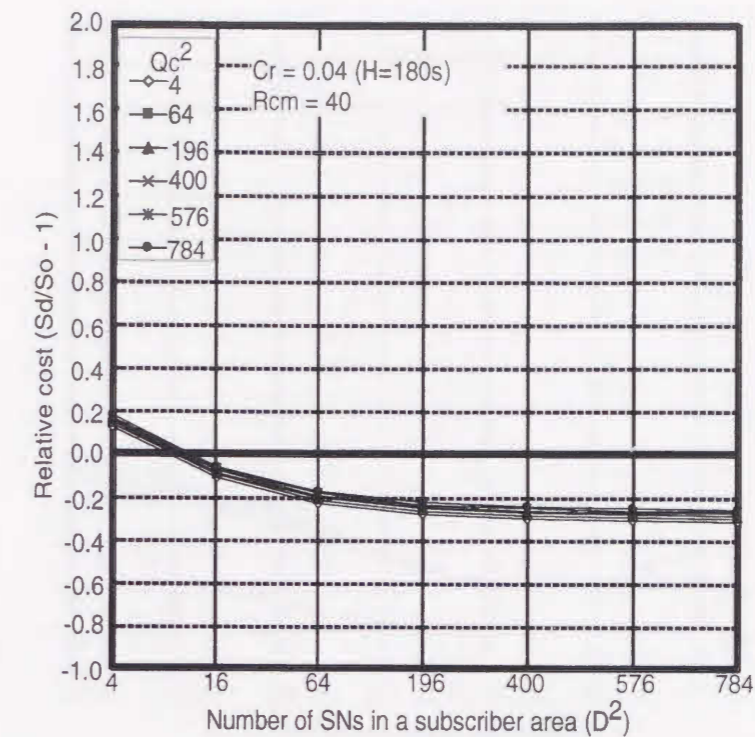


図 3.6 式 (4) を用いた相対コストの結果 ($Rcm = 40$, $H = 180$ s)

響は少なく、集約得の影響のために相対コストを下げ、分割数 16 以上では分割損の影響が現れ始め、図 3.5 の相対コストを上げる。一方、図 3.6 では分割損や集約得の影響がないためである。このように集約得の効果は大きく、図 3.5 のほうが図 3.6 より、相対コストの最小値は小さくなっている。

また、図 3.6 では、集約数の変化による相対コストへの影響はほとんどない。これは集約得の効果がないため、図 3.5 の場合のように (P5)、(P7) による相対コストの減少効果はなく、加入者当りの CN のコスト (Sd_{cn}) と信号リンクコスト (Sd_s) はほぼ一定となる。その結果、集約数の増加に伴って相対コストを増加させる要因は (P6) のみとなる。(P6) による加入者当りの制御リンクコスト (Sd_c) は、図 3.6 では分割損の影響がないため、一定で、図 3.5 の場合に比べて小さくなり、制御リンク距離が増加してもそのコストは微増になる。このため、集約数の変化による相対コストの差はわずかになる。

以上をまとめると、分割損と集約得は、DNW のコスト削減に重要な要因である。つまり、DNW は、小容量 SN の分散配置による加入者ライン距離の短縮に

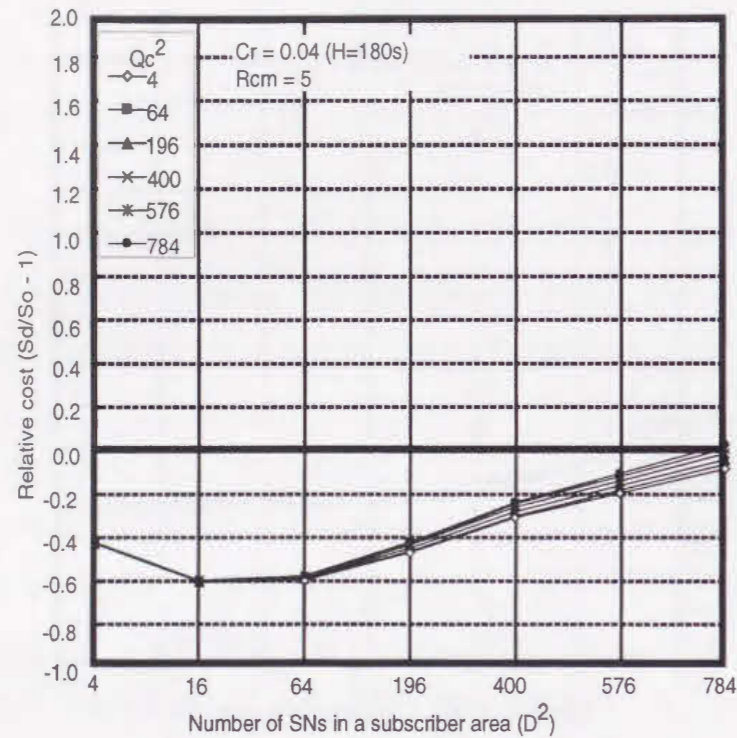


図 3.7 式 (3) を用いた相対コストの結果 (Rcm = 5, H = 180 s)

よりネットワークコストの削減効果を得られる。同時に、小容量 SN の分散配置は分割損と制御リンク、中継リンクの距離増大のためネットワークコストの増加要因になる。CN での集約は、集約得によりネットワークコストの削減効果をもたらすが、同時に、CN が SN の遠方に配置されるため、制御リンク距離の増大によりネットワークコスト増加の要因にもなる。

したがって、DNW の効果を向上させるためには、小規模でも固定コストが小さく、性能とコストが比例するような分割損のない装置で SN を構成し、CN は高性能でコストパフォーマンスが良く集約得の効果が大きな装置で構成することが重要となる。

(3) 呼制御信号数の影響

呼制御信号増加係数 Rcm が 5 の場合について、Grosch 型と線形型コストでの相対コストを、それぞれ図 3.7, 図 3.8 に示す。

Grosch 型コストを用いた図 3.7 と図 3.5 を比較すると、集約数と分割数に対し

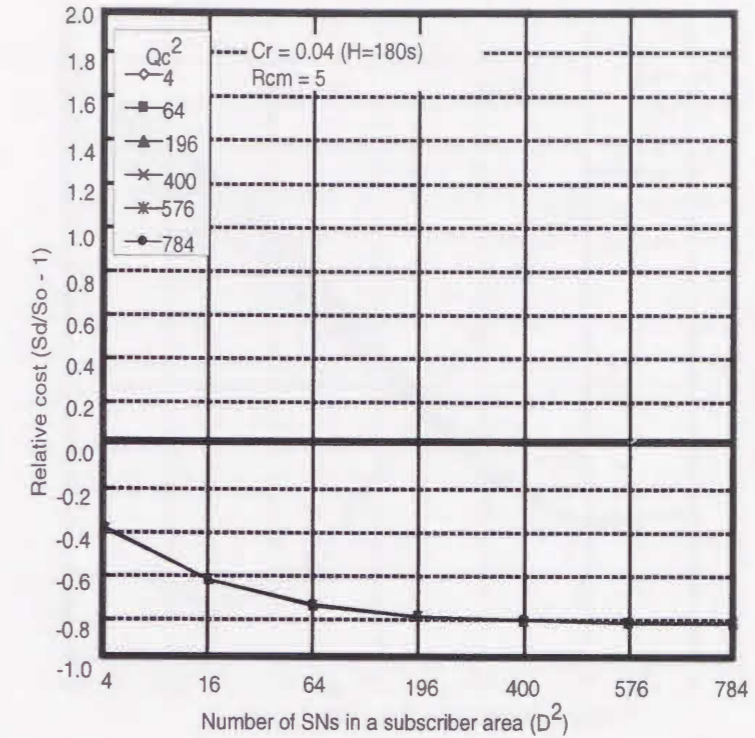


図 3.8 式 (4) を用いた相対コストの結果 (Rcm = 5, H = 180 s)

て相対コストの傾向は同じであるが、Rcm が小さい図 3.7 が、相対コストは全体的に小さい。線形型コストを用いた図 3.8 と図 3.6 でも、同様に Rcm の小さい図 3.8 が相対コストは小さくなっている。

また、Rcm が小さいと、CN の集約の程度差は、相対コストにほとんど影響しなくなっている。これは、Rcm の減少で、制御リンクの所要帯域が減少し、その距離が増大しても大きく影響しなくなったためである。

以上より、同じコスト関係式では、Rcm によらず、相対コストの傾向は同じであり、Rcm が小さいほど、DNW がコスト的に有利になることがわかる。

これは、加入者ノードを CN と SN に分離したときに生じる制御リンク通信装置と制御リンクのコストが大きく影響していることを意味している。このように、分割損や集約得の影響の有無に係らず、CN と SN 間の呼制御信号数の低減は、DNW の効果を向上するのに重要な要因である。

したがって、DNW の効果を向上するためには、CN と SN 間の呼制御信号数を最小にするように呼制御プログラムを構成し、CN と SN への機能を適切に分

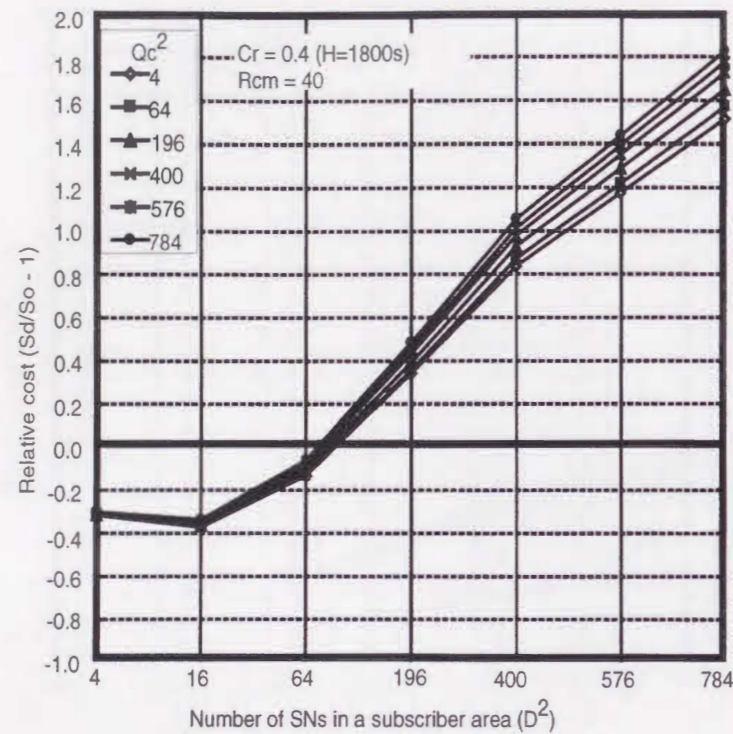


図 3.9 式 (3) を用いた相対コストの結果 (Rcm = 40, H = 1800 s)

担する必要がある。

(4) 保留時間の影響

Cr = 0.4 (H = 1800 s), Rcm = 40, Grosch 型コストのときの相対コストを図 3.9 に示す。Cr = 0.04 (H = 180 s) の図 3.5 と比較すると、図 3.5 では分割数が 196 程度まで相対コストが負の値なのに対して、図 3.9 では分割数が 64 程度までである。このように、平均保留時間が長くなると分割数に対してコスト的に有利な範囲が減少する。

これは、SN の通話路装置と中継リンクの所要能力が増大し、相対コストを上げるためである。この主要因は、SN の通話路装置の分割損の影響であり、分割数が大きいほど顕著になる。したがって、分割数 784 では、平均保留時間が長い図 3.9 が図 3.5 より相対コストは大きくなっている。

また、分割数が 784 のとき、集約数の違いにより図 3.5 の相対コストは 1.13 ~ 0.81 であるのに対して、図 3.9 では 1.83 ~ 1.52 であり、その差はほぼ同じであ

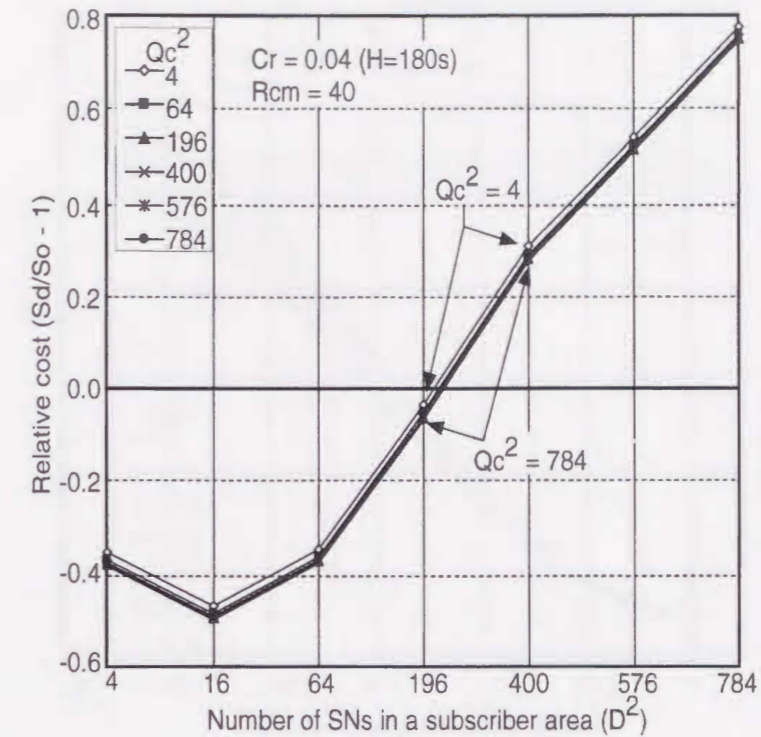


図 3.10 式 (3) を用いた相対コストの結果 (Rcm = 40, H = 180s, リンクコスト 1/100)

る。よって、平均保留時間の増加は、CN での集約の程度差に対しては影響を与えないことがわかる。

一方、図示していないが、線形型コストを用いた場合でも、平均保留時間の増加による相対コストへの影響は、上述の Grosch 型コストにおける傾向と同じ結果が得られている。

以上より、呼の平均保留時間の増加は、分割損の影響がある場合には、SN の通話路装置を分割損が少なくなるように構成することが重要となる。

(5) 伝送路コストの影響

大規模な公衆通信ネットワークでは、伝送路コストの占める割合が大きいのので、DNW の効果を明らかにするために、将来、伝送路が現在と同一情報量の伝送でも大幅に廉価になる場合を想定してみる。

WDM (Wavelength Division Multiplexing) 等の多重化技術等の進歩により、CNW

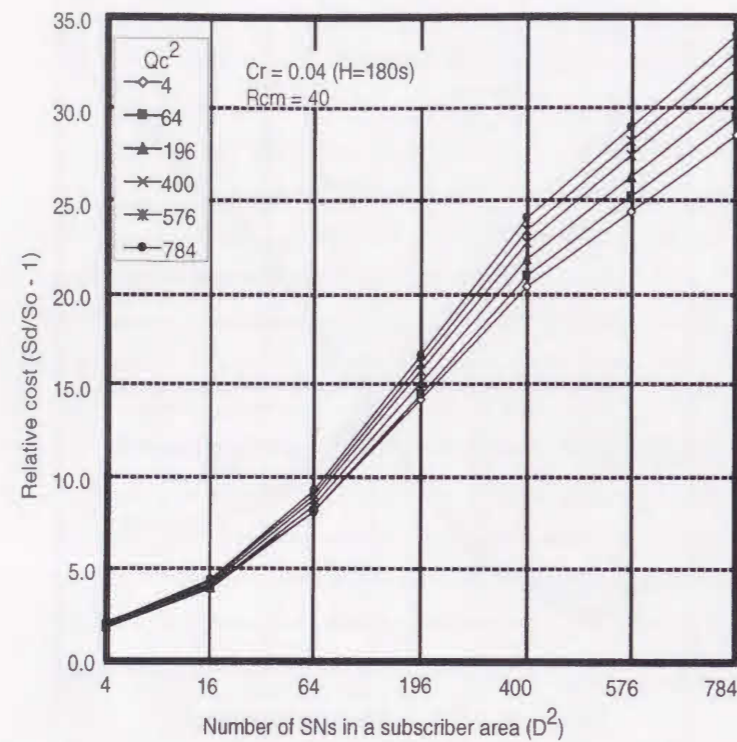


図 3.11 式 (3) を用いた相対コストの結果 (Rcm = 40, H = 180s, 加入者ラインコスト 1/100)

と DNW とも、中継リンク、制御リンク、信号リンクのリンクコストが、図 3.5 の 1/100 倍に低減された場合を想定し、 $Cr = 0.04$ ($H = 180$ s), $Rcm = 40$, Grosch 型コストのときの相対コストを図 3.10 に示す。

リンクコストが安い図 3.10 は、分割数に対して図 3.5 より DNW の有利な領域が増えている。

同じ分割数のとき、集約数の大きな場合と小さな場合との差はわずかであるが、集約数が大きくなるほど相対コストが低くなり、図 3.5 とは逆の傾向となっている。これは、リンクコストの大幅な低減により、図 3.5 における (P3), (P4), (P6), (P7) の影響がほとんどなくなり、(P5) による CN の集約得の影響が現れたためである。なお、同様の結果は、集約得の効果がない線形型コストでも得られている。

このようにリンクのコストが大幅に低減された場合では、DNW はわずかながらコスト的に有利になり、また、CN での集約を図ったほうが良い。

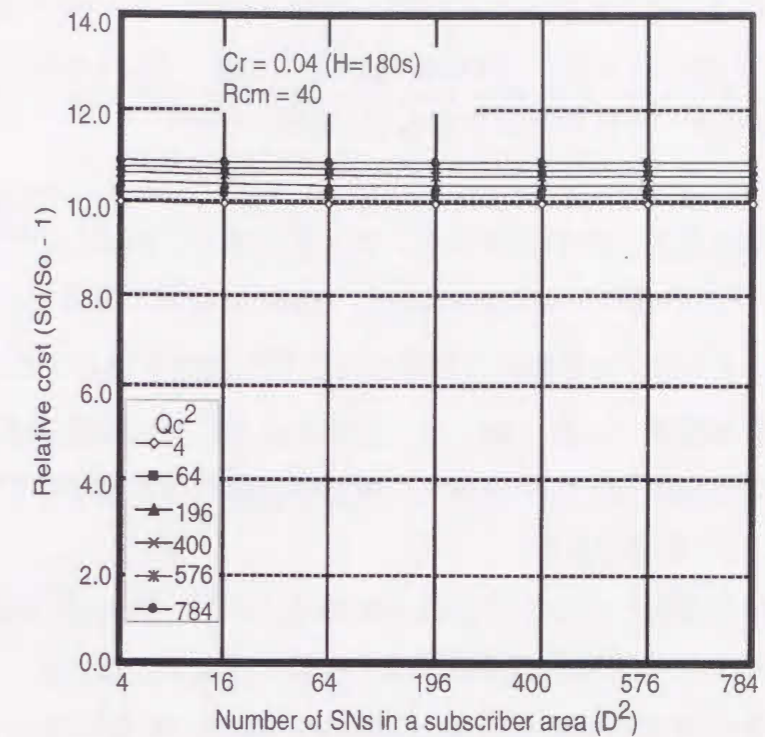


図 3.12 式 (4) を用いた相対コストの結果 (Rcm = 40, H = 180s, 加入者ラインコスト 1/100)

同様に、光化等で加入者ラインのコストが図 3.5 の 1/100 倍に低減された場合を想定する。Grosch 型コスト (図 3.11) と線形型コスト (図 3.12) のいずれの場合でも、DNW はコスト的に不利になっている。これは、図 3.5, 図 3.6 で分割数増加に伴う相対コスト減少の支配要素であった (P2) による効果は生じず、Grosch と線形型コストともに (P3), (P4), (P6) の影響のためである。このように加入者ごとに必要な加入者ラインのコストは、DNW に大きなインパクトを与える。

3.6 結 言

以上のように、本章では、大規模な分散型公衆通信ネットワーク (DNW) の経済的效果について、ネットワーク構築コストの観点から従来型公衆通信ネット

ワーク (CNW) と比較評価した。その結果、周辺技術の進展や環境条件の変化に影響される以下の条件に留意して DNW を構築することで、DNW は CNW に比べて経済的効果を得、それを向上できることがわかった。

- (1) 単位伝送情報量当りの加入者ラインコストが高く、制御リンク、中継リンク、信号リンクの各コストが安いほど、DNW は有効である。
- (2) 制御系ノード (CN) は集約得の効果が得られる装置で構成する。
- (3) 小容量の通話路系ノード (SN) は、分割損を生じない装置構成にする。特に、呼の平均保留時間が長いときは、通話路装置の分割損を生じない装置構成にすることが重要である。
- (4) 単位伝送情報量当りのリンクコストが安く、かつ、集約得の効果が得られるときは、CN での制御系の集約程度を大きくする。
- (5) 加入者ラインコストが高く、かつ、SN の分割損の影響がないときは、SN の小規模分散配置を行う。
- (6) CN と SN 間の呼制御信号数を低減させる。また、CN と SN それぞれに配置される制御リンク通信装置は可能な限り安価な装置構成にする。
- (7) 加入者ラインコストが安い場合や分割損の影響が大きいときは、SN の小規模分散配置を行いすぎると経済的効果は得られなくなる。また、加入者ラインコストが非常に安価な場合でも、DNW は経済的効果を得られなくなる。

第 4 章

分散型公衆通信ネットワークの信頼性評価

4.1 緒言

これまで、分散型公衆通信ネットワークの性能特性 [1], [2] やそのネットワーク構築コストの評価 [3], [4] を行い、高性能で従来型の公衆通信ネットワークより廉価となる分散型公衆通信ネットワークの構成について明らかにしてきた。

現在の大規模な公衆通信ネットワーク (CNW) は、ライフラインとしての使命をもつほか、さまざまな経済活動を行ううえで必要不可欠なものとなっている。このため、CNW の故障は社会的影響が大きく、冗長構成により高信頼化を図っているのが一般的である。その反面、ネットワークのコストが高価になっている。高性能な制御系ノード (CN) が多数の小容量通話路系ノード (SN) を制御する構造の大規模分散型公衆通信ネットワーク (DNW) では、SN 当りの収容加入者数は少なくなるため、SN に関する冗長構成を削減しても、ネットワークの信頼性を大幅に減少させずにコスト低減を図れる可能性がある。一方、多数の SN を制御する CN を構成する装置の冗長構成削減は、ネットワークの信頼性に大きな影響をおよぼす危険がある。

そこで、本章では、DNW の信頼性と冗長構成との関係を述べる。また、CNW と比較し、DNW の信頼性とコスト有効性について評価することで、高信頼で優れたコスト有効性となる DNW の構築条件を明らかにする。

4.2 大規模分散型公衆通信ネットワークの構成

DNW の構成について、CNW と対比しながら改めて述べる (図 4.1)。

図 4.1(a) には CNW の構成を示している。CNW は、加入者ノード (Subscriber node) から他の加入者ノードへの呼 (ノード外呼) は、中継リンク (Trunk link) と中継ノード (Toll node) を経由して、着信先の加入者ノードに伝達される。この呼を制御する呼制御信号は、加入者ノードから信号リンク (Signaling link) と信号ノード (Signaling transfer node) を経由し、中継ノードや加入者ノードに伝達されて、呼の接続が行われる。

加入者ノードは、制御系 (Control subsystem)、信号系 (Signaling subsystem)、通話路系 (Switching subsystem) から構成されている。制御系は呼制御プログラム等を実行するプロセッサとメモリを中心とする制御装置 (Central processing equipment)(a-1)、信号系は No. 7 共通線信号の送受信を行う装置とそれを制御するソフトウェアを実行するプロセッサ等からなる通信装置 (Communication equipment)(a-2) で構成されている。通話路系は、スイッチファブリックを主要装置とする通話路装置 (Speech path equipment)(a-3) と加入者ラインごとに必要な加入者回路からなる加入者装置 (Subscriber line equipment)(a-4) から構成される。これらの装置は、加入者装置を除いてすべて 2 重化構成となっている。

DNW は、加入者ノードの制御系と通話路系を、それぞれ CN と SN としてネットワーク上に分散配置する (図 4.1(b))。CN には高性能なプロセッサを適用し、SN は従来の加入者ノードより小容量の通話路系を具備して加入者の近傍に配置する。

CN は、高性能プロセッサからなる制御装置 (b-1)、信号ノードと呼制御信号送受信を行う信号リンク通信装置 (b-2)、SN と呼制御信号の送受信を行う制御リンク通信装置 (b-3)、から構成される。SN は、CN と呼制御信号の送受信をする制御リンク通信装置 (b-4)、小容量の通話路装置 (b-5) と加入者装置 (b-6) で構成する。

CN と SN 間には新たに制御リンク (Control link) を設け、CN と SN の制御リンク通信装置に DPE を搭載することで、多数の小容量 SN の呼制御を CN が一元的に行う。

このため、発信と着信が同一 SN となる呼の接続は、SN から制御リンクで伝

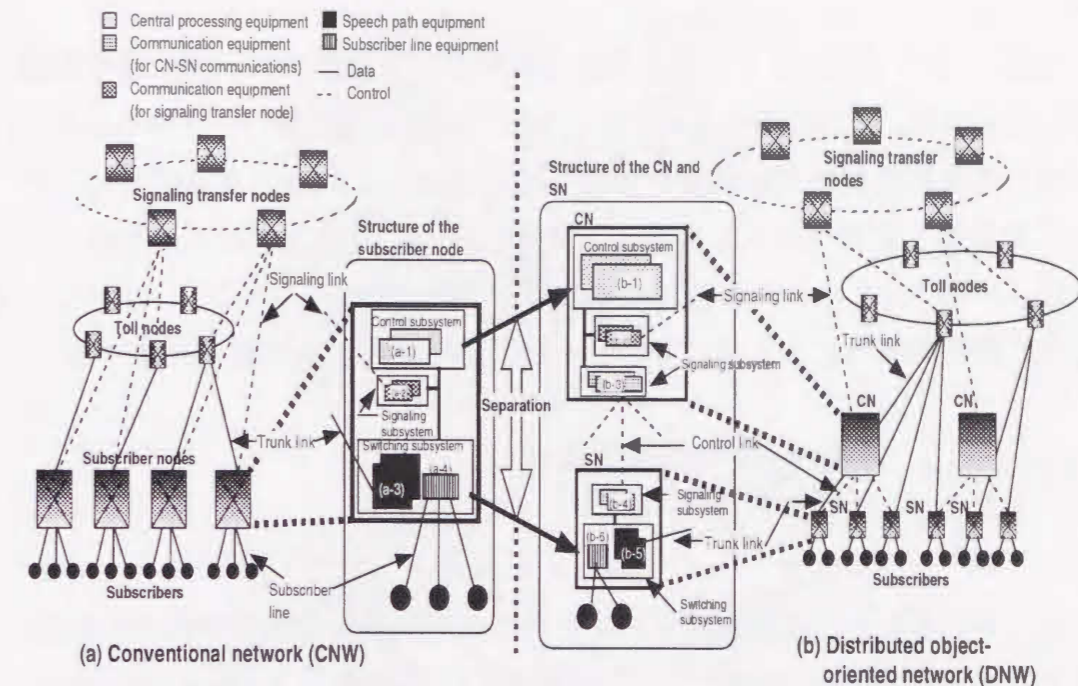


図 4.1 大規模な従来型と分散型公衆通信ネットワークの構成

達された呼制御信号を CN で処理することで行う。一方、SN のノード外呼は、CNW と同様、中継リンクを経由して中継ノードで交換処理され、着信先の SN に伝達される。このノード外呼を制御する呼制御信号は、CN から信号リンクと信号ノードにより、中継ノードと着信先の CN に伝達される。

4.3 信頼性評価方法

4.3.1 信頼性評価指標

DNW の SN 当りの収容加入者数は、CNW の加入者ノードより少い。このため、SN の故障は、CNW の加入者ノードの故障より加入者への影響範囲が小さくなる。一方、CN は、CNW の加入者ノードに比べて多数の加入者を制御するので、CN の故障は加入者ノードの故障より甚大な影響を与える。したがって、ネットワークの信頼性評価指標に、ノード単体の信頼性を用いることは適切で

ない。

そこで、CNW と DNW と同じ加入者数が存在する領域（以下、評価領域と呼ぶ）を基準に、そこに構築されるネットワークの各種装置（伝送路も含む、以下同様）の故障発生とその修理が継続して実施されている定常状態で、サービス可能な加入者数（以下、有効加入者数と呼ぶ）の割合（以下、有効加入者率と呼ぶ）をネットワークの信頼性の指標とする（式(1)）。ここで、サービス可能とは、評価領域内の加入者に通信サービスを提供可能な状態と定義する。

$$\text{有効加入者率} = \frac{\text{評価領域の有効加入者数}}{\text{評価領域の加入者数}} \quad (1)$$

一方、ネットワークの信頼性に対する費用対効果はコスト有効性 [5] を用い、本章では式(2)のように定義する。これをもとに、CNW と DNW の相対評価は、式(3)で定義する相対コスト有効性で行う。

$$\begin{aligned} \text{コスト有効性} &= \frac{\text{評価領域でのネットワーク構築コスト}}{\text{評価領域の有効加入者数}} \\ &= \frac{\text{加入者当たりのネットワーク構築コスト}}{\text{有効加入者率}} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{相対コスト有効性} = \frac{\text{DNWのコスト有効性}}{\text{CNWのコスト有効性}} - 1 \quad (3)$$

4.3.2 ネットワークの評価モデル

相対比較する CNW と DNW は、両者で同一条件となる中継ノードと信号ノード及びそれらのノード間接続リンクを除外して、第3章の3.4.1と同様、以下のようにモデル化する。

(1) 従来型公衆通信ネットワークの評価モデル

CNW の評価モデルを図4.2(a)に示す。加入者ノードは、一辺が L の正方領域

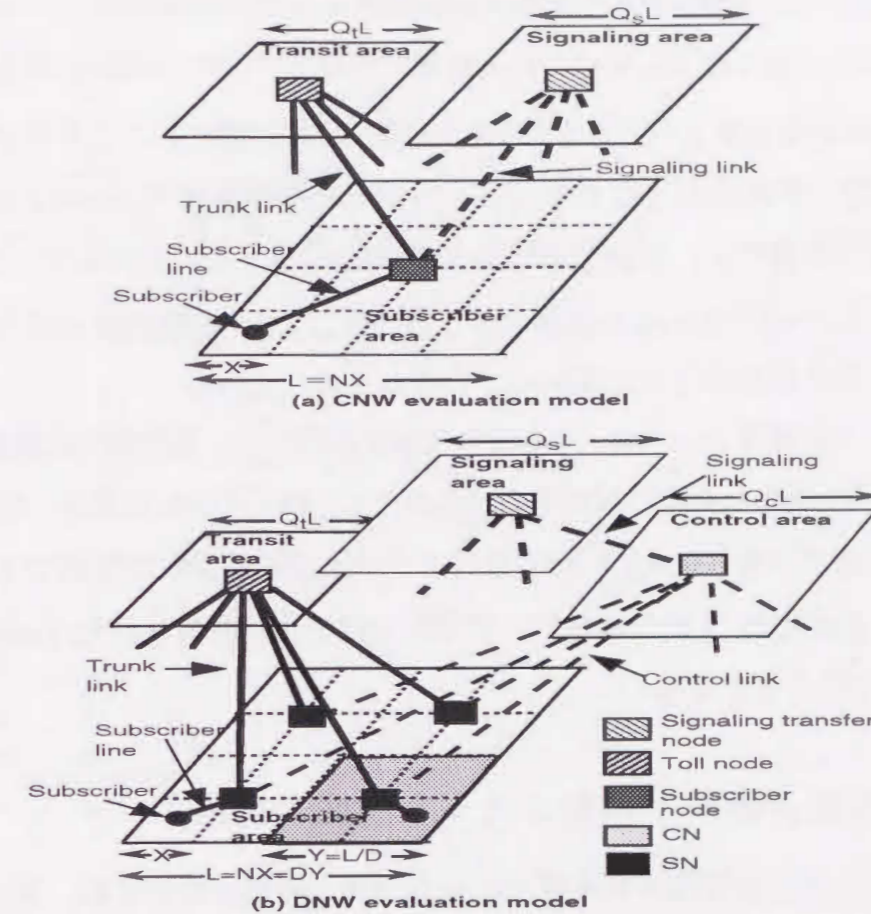


図 4.2 大規模公衆通信ネットワークの評価モデル

(Subscriber area ; 加入者領域) の中心に 1 台配置し、その領域内の加入者を収容する。加入者は、L を N 等分した 1 辺 X の小正方領域に 1 人存在するとする。したがって、1 つの加入者領域で $N_0 = (L/X)^2$ 人の加入者が存在する。

各中継ノードは、一辺 $Q_t L$ ($Q_t > 1$) の正方領域 (Transit area) の中心に 1 台配置し、その領域内の加入者ノード Q_t^2 台と中継リンクで接続する。また、信号ノードは一辺 $Q_s L$ ($Q_s > 1$) の各正方領域 (Signaling area ; 以下、信号領域と呼ぶ) の中心に 1 台配置し、その領域内の加入者ノード Q_s^2 台と信号リンクで接続する。

(2) 分散型公衆通信ネットワークの評価モデル

DNW の評価モデルを図 4.2(b) に示す。SN は、加入者領域の一辺を D 等分し

た一辺のサイズが $Y = L/D$ の小正方領域の中心に 1 台ずつ配置し、各 SN がこの小正方領域内の加入者 $N_{sn} = N_o/D^2$ 人を収容する。ここで、 D^2 を分割数と呼び、CNW における加入者ノードが D^2 台の小容量 SN に分割されたことを意味する。

CN は、加入者領域の一辺 L を $Q_c (> 1)$ 倍した制御領域 (Control area) の中心に、1 台ずつ配置する。制御領域は加入者領域の Q_c^2 倍になるので、各 CN は加入者ノードの Q_c^2 倍の呼を制御することになる。 Q_c^2 を集約数と呼び、CN が加入者ノードの制御系を何倍集約しているかを表している。

中継ノードと信号ノードは、それぞれ CNW の場合と、処理能力と配備領域とも同一として、SN と CN に接続する。このため、 $Q_s L < Q_c L$ のとき、CN は制御領域内に配置された $(Q_c/Q_s)^2$ 台の信号ノードと信号リンクで接続する。逆に、 $Q_s L > Q_c L$ のときは、1 台の信号ノードが信号領域内に配置された $(Q_s/Q_c)^2$ 台の CN と接続することになる。

4.3.3 有効加入者率と相対コスト有効性の算出

ネットワークの信頼性評価指標である有効加入者率の算出には、有効加入者数が必要である。有効加入者数は、ネットワークを構成する各装置の定常アベイラビリティを用いて算出できる。アベイラビリティは、各装置が故障と修理を繰り返すマルコフ過程において、時間 t で正常に動作している確率であり、 $t \rightarrow \infty$ でのアベイラビリティが定常アベイラビリティである。

評価領域は一辺 $Q_c L$ の制御領域とし、この領域に構築される CNW と DNW の有効加入者数は後述の式 (4)、(5) で得られる。評価領域の加入者数が $(Q_c L/X)^2$ より、CNW と DNW の有効加入者率は、それぞれ式 (1) から得られる。

相対比較する CNW と DNW の信頼性に対する費用対効果の評価指標は、相対コスト有効性である。これは、式 (1) と第 3 章の 3.3.1 で述べた加入者当りのネットワーク構築コストを用いて、式 (2)、(3) より算出する。相対コスト有効性は式 (3) が意味するとおり、その値が負のとき DNW が CNW より費用対効果が優れていることを表す。

(1) 従来型公衆通信ネットワークの有効加入者数

CNW の有効加入者数は、図 4.1(a) の加入者ノードの構成と図 4.2(a) のネットワークモデルから、次式で得られる。

$$\begin{aligned} NSF_{CNW} = & \sum_{j=1}^{n=Q_c^2} \left[j_n C_j \left\{ A_{co} \sum_{i=1}^{m=N_o} i_m C_i (A_{co_slic} A_{co_al})^i \right. \right. \\ & \times (1 - A_{co_slic} A_{co_al})^{m-i} \left. \right\}^j \\ & \times \left\{ 1 - A_{co} \sum_{i=1}^{m=N_o} i_m C_i (A_{co_slic} A_{co_al})^i \right. \\ & \left. \left. \times (1 - A_{co_slic} A_{co_al})^{m-i} \right\}^{n-j} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

where

$$A_{co} = A_{co_tl} A_{co_sl} \prod_{i=0}^2 A_{co,i}$$

ここで、

C : Combination

n : 評価領域に存在する加入者ノードの数

m : 加入者ノードの加入者数

A_{co_slic} : 加入者当りの加入者装置の定常アベイラビリティ

A_{co_al} : 加入者ラインの定常アベイラビリティ

$A_{co,i}$: 加入者ノードの制御装置 ($i=0$), 通信装置 ($i=1$), 通話路装置 ($i=2$), それぞれの定常アベイラビリティ

A_{co_tl} : 加入者ノード当りの中継リンクの定常アベイラビリティ

A_{co_sl} : 加入者ノード当りの信号リンクの定常アベイラビリティ

(2) 分散型公衆通信ネットワークの有効加入者数

図 4.1(b) の CN と SN の構成と図 4.2(b) のネットワークモデルより、DNW の有効加入者数は式 (5) で得られる。

ここで、 $QsL < QcL$ の場合、CN は $(Qc/Qs)^2$ 台の信号ノードと信号リンクで接続される。この信号リンクの少なくとも1つに故障が発生すると、CN は接続しているすべての信号ノードと通信が途絶するように、信号リンクの定常アベイラビリティを決定している。つまり、サービス不可能な状態となる。現実のDNWでは、CN が残りの正常な信号リンクで接続している信号ノードと通信できるように設計される可能性があるので、DNW でのこの条件は安全サイド（有効加入者数低下）の評価となる。

$$NSF_{DNW} = A_{cn} \sum_{j=1}^{n=(QcD)^2} \left[j_n C_j \left\{ A_{sn} \sum_{i=1}^{m=Nsn} i_m C_i (A_{sn_slic} A_{do_al})^i \right. \right. \\ \times (1 - A_{sn_slic} A_{do_al})^{m-i} \left. \right\}^j \\ \times \left\{ 1 - A_{sn} \sum_{i=1}^{m=Nsn} i_m C_i (A_{sn_slic} A_{do_al})^i \right. \\ \left. \times (1 - A_{sn_slic} A_{do_al})^{m-i} \right\}^{n-j} \quad (5)$$

where

$$A_{cn} = A_{cn_sl} \prod_{i=0}^2 A_{cn,i}$$

$$A_{sn} = A_{do_cl} A_{do_tl} \prod_{i=0}^1 A_{sn,i}$$

ここで、

C : Combination

n : 1 台の CN が制御する SN の台数

m : SN の加入者数

Asn_slic : 加入者当りの加入者装置の定常アベイラビリティ

Ado_al : 加入者ラインの定常アベイラビリティ

Acn,i : CN の制御装置 (i = 0), 信号リンク通信装置 (i = 1), 制御リンク通信装置

(i = 2), それぞれの定常アベイラビリティ

Ado_sl : CN 当りの信号リンクの定常アベイラビリティ

Asn,i : SN の制御リンク通信装置 (i = 0), 通話路装置 (i = 1), それぞれの定常アベイラビリティ

Ado_cl : SN 当りの制御リンクの定常アベイラビリティ

Ado_tl : SN 当りの中継リンクの定常アベイラビリティ

4.3.4 故障率の算出

高性能な制御系を備えた CN や小容量 SN の定常アベイラビリティを求めるには、当該処理能力を備える各装置の故障率が必要である（付録 4-1. 定常アベイラビリティの導出を参照）。ノードの装置は主として LSI で構成されており、LSI の故障率の推定方法としては MIL-HDBK-217C[6] がある。更に、LSI を構成する要素数から故障率の予測には [7], [8] 等の研究もある。しかし、ノードに使われている LSI は多種多様にわたるため、本章では単純化を図り、また、設計初期段階で装置の故障率 (λ) の予測に多用されている式 (6) を用いる [9], [10]。

$$\lambda = N_e^\alpha \lambda_e \quad (\alpha = 1.0, \text{ or } 1.2 \sim 1.4) \quad (6)$$

ここで、 N_e は複雑性を表し、一般には装置を構成する部品数、 λ_e は過去の経験から決定される当該装置を構成する部品当りの平均故障率である。なお、 α は 1.0 を用いた。

分散配置される SN は小容量になるため、その構成部品数は少なくなる。そこで、同一装置において、高性能な装置は複雑で構成部品数が多く、低処理能力の装置では複雑性が低く部品数が少ないものとして、装置の構成部品数は当該装置の処理能力に比例すると仮定する。

ノードの制御系や信号系装置の所要処理能力は、完了呼、不完了呼を含めた入力呼数に依存し、通話路系に必要な処理能力（通話路のトラヒックスループット）は総呼量に依存する。これは、POTS (Plane Ordinary Telephone Service) の呼制御方式が、呼の接続と切断処理は制御系と信号系で処理し、呼の接続中は通話

路系のみを使用する方式を想定しているためである。

CNW では、制御系と通話路系間の制御信号をノード内で処理しているが、DNW では CN と SN 間のノード外通信となる。呼当りの CN と SN 間の呼制御信号数は、CN と SN の機能分担により異なり [1], [2], CNW の加入者ノードと信号ノード間の R_{cm} (> 1) 倍必要とするものとする。このため、CN と SN 間の制御リンクとその通信装置は、それぞれ CNW の信号リンクとその通信装置の R_{cm} 倍の処理能力が必要となる。この R_{cm} を呼制御信号増加係数と呼ぶ。

伝送路の故障率はその距離に比例し、距離は第 3 章の 3.4.1 (4) 伝送路接続モデルを用いて算出する。

4.4 評価と考察

4.4.1 信頼性評価諸元

(1) ネットワークパラメータ

加入者ノードは 1 辺 (L) が 15.120 km の加入者領域に配置され、その加入者 65536 ($= 2^{16}$) 人を収容する。

DNW では、分割数 D^2 と集約数 Q_c^2 とも 4 ~ 784 まで変化させる。分割数が 784 の場合、SN 1 台の加入者数は 84 人であり、小型の PBX や中規模程度のビジネスホンの規模に相当する。一方、集約数が 784 では、1 台の CN が約 5 千万人の加入者を制御する規模になる。分割数と SN 1 台当りの収容加入者数を表 4.1 に、表 4.2 には集約数と 1 台の CN が制御する加入者数を示す。

呼制御信号増加係数 R_{cm} は、40 と 5 の 2 種類を用いる [2], [4]。

CNW と DNW の共通条件である信号ノードと中継ノード各 1 台を配置する正方領域の 1 辺の距離を表す係数 Q_t と Q_s は、それぞれ 2, 4 とする。信号リンクに関しては、No.7 共通線信号方式の値を用いている。呼はランダム呼で呼損率 0.01, 加入者当りの発呼率は 0.04, 呼の保留時間は 180 s とする。

相対コスト有効性を求めるのに必要な加入者当りのネットワーク構築コスト

表 4.1 分割数と SN の加入者数

D^2	Number of subscribers per SN
4	16384
16	4096
64	1024
196	334
400	164
576	114
784	84

表 4.2 集約数と CN が制御する加入者数

Q_c^2	Number of subscribers per CN
4	262144
64	4194304
196	12845056
400	26214400
576	37748736
784	51380224

は、文献 [4] に基づいている。

(2) 冗長構成パラメータ

表 4.3 に CNW と DNW を構成する装置の冗長構成を示す。

DNW は 3 種類の冗長構成モデル (RAT I, II, III) で評価する。CNW と DNW とも加入者ラインと加入者装置は 1 重化構成である。冗長構成装置は待機 2 重系運転とし、待機系は故障せず、系の切り換えは 100% 成功するものとする。

各装置の故障率はハードウェア故障を前提としている。これら装置の故障率は CNW での値を用い、4.3.4 の方法により 4.4.1 の (1) の条件下での各装置の故障率を算出している。なお、これらの故障率は時間に無関係で一定とする。また、両ネットワークの修理を行う修理チームは十分存在すると仮定し、各装置の平均修理時間は 2 時間とする。2 重化構成装置の両系故障時には、片系ずつ修理されるものとする。装置の故障率と平均修理時間からの定常アベイラビリティの算出は、付録 4-1. 定常アベイラビリティの導出を参照。

表 4.3 冗長構成パラメータ

Redundancy architecture types (RAT)	CNW	DNW		
		I	II	III
Central processing equipment in a subscriber node or CN	D	D	S	D
Communication equipment (for signaling transfer node) in a subscriber node or CN	D	D	S	D
Communication equipment (for SNs) in a CN	--	D	S	D
Communication equipment (for CN) in a SN	--	D	S	S
Speech path equipment in a subscriber node or SN	D	D	S	S
Subscriber line equipment in a subscriber node or SN	S	S	S	S
Trunk link	D	D	S	D
Control link	D	D	S	D
Signaling link	D	D	S	D
Subscriber line	S	S	S	S

D: Duplex, S: Simplex

4.4.2 信頼性評価結果

(1) 冗長構成の影響

(a) 冗長構成 I (RAT I) の結果

図 4.3 に呼制御信号増加係数 R_{cm} が 40 で、CNW と同じ冗長構成 (RAT I) の DNW について、分割数 D^2 と集約数 Q_c^2 に対する有効加入者率を示す。併せて CNW の有効加入者率も示している。また、図 4.4 には相対コスト有効性を示す。縦軸の相対コスト有効性が負の値では、DNW が CNW より信頼性に対する費用対効果が優れていることを意味する。

DNW の有効加入者率 (図 4.3) は集約数が増加すると大きく低下している。この主要因は、集約数が大きくなると、CN が制御する加入者数が増加するため CN 各装置の所要処理能力が増加し、装置構成部品数の増大により CN の信頼性低下するためである。

ところが、集約数が 196 までは、DNW のほうが CNW より有効加入者率が高く、高信頼のネットワークとなることがわかる。これは、集約による CN の信頼性低下よりも、SN の小容量分散配置により、SN を構成する各装置の部品数が減り SN の信頼性が高くなることと、各加入者まで設置されるので単位距離当りの故障率が高く、かつ、1 重化構成である加入者ライン距離が短縮されること

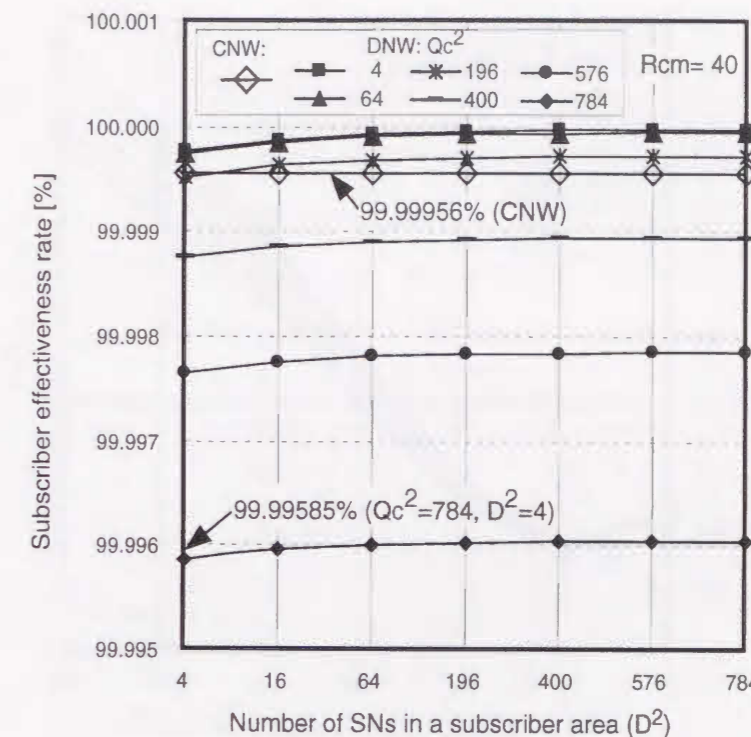


図 4.3 冗長構成 I での有効加入者率 ($R_{cm} = 40$)

が原因である。特に加入者ラインの信頼性向上の影響が大きい。

この加入者ライン距離短縮による信頼性向上効果は、DNW において、分割数の増加に伴い有効加入者率がわずかながら増加している原因でもある。このように DNW の信頼性は、分割数より集約数が大きく影響する。したがって、CNW と同様の冗長構成の DNW でも、CN での制御系集約を抑え SN の小容量分散配置を行うことで、高信頼性な DNW を構築できることがわかる。

相対コスト有効性 (図 4.4) については、分割数が 196 より小さい範囲で負の値を示し、DNW が CNW より優れている。特に、分割数が 16 では、最も費用対効果の優れた DNW が構築できることがわかる。

また、相対コスト有効性は集約数とともに増加するが、それは分割数の影響に比べると小さく、分割数が相対コスト有効性に大きく寄与している。これは、集約数と分割数に依存する DNW の加入者当りのネットワーク構築コストの特性が主として反映された結果である。つまり、DNW の有効加入者率は最低でも 99.99585% (図 4.3, 集約数 784, 分割数 4 のとき) で、CNW のそれは 99.99956%

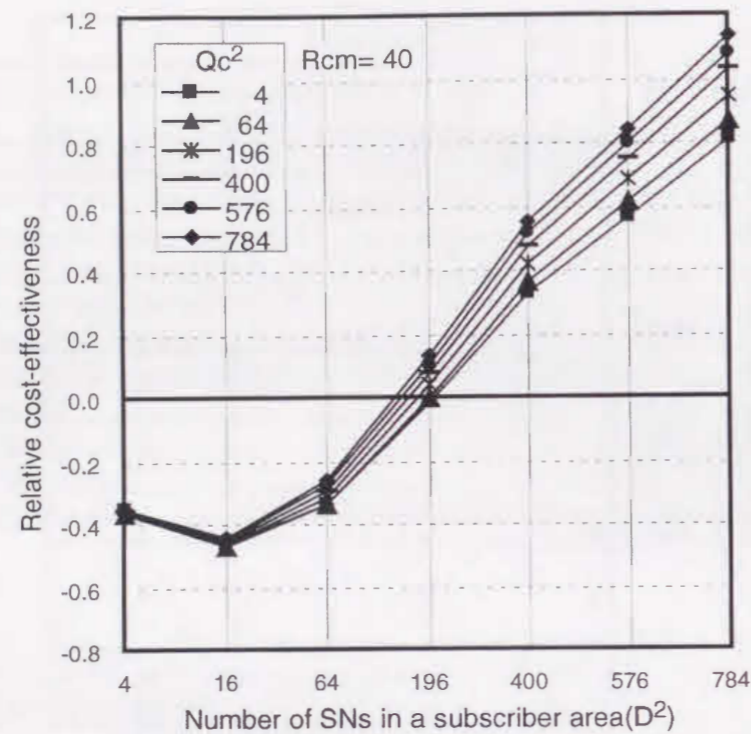


図 4.4 冗長構成 I での相対コスト有効性 (Rcm = 40)

とともに大きく、また、評価領域での加入者当りの CNW 構築コストは一定である。

したがって、式 (2), (3) からわかるように DNW のネットワーク構築コストの特性が反映される。この特性は、分割数が増加すると加入者ライン距離短縮によりコスト削減となるが、一定値以上の分割数では、小容量 SN の構築で生じる分割損の影響が現れコスト増加に転じる。一方、集約数の増加は、制御リンクと信号リンク距離増加によりコスト増加となるというものである (第 3 章)。

以上より、DNW の信頼性は、CN での制御系集約が SN の小容量分散配置より大きく依存する。相対コスト有効性は、逆に CN での制御系集約の影響が小さく、SN の小容量分散配置に大きく依存する。しかし、CNW と同じ冗長構成の DNW でも、分割数 196 以下で集約数 64 以下では、CNW に比べ信頼性とコスト有効性とも優れたネットワークを構築できることがわかる。

(b) 冗長構成 II (RAT II) の結果

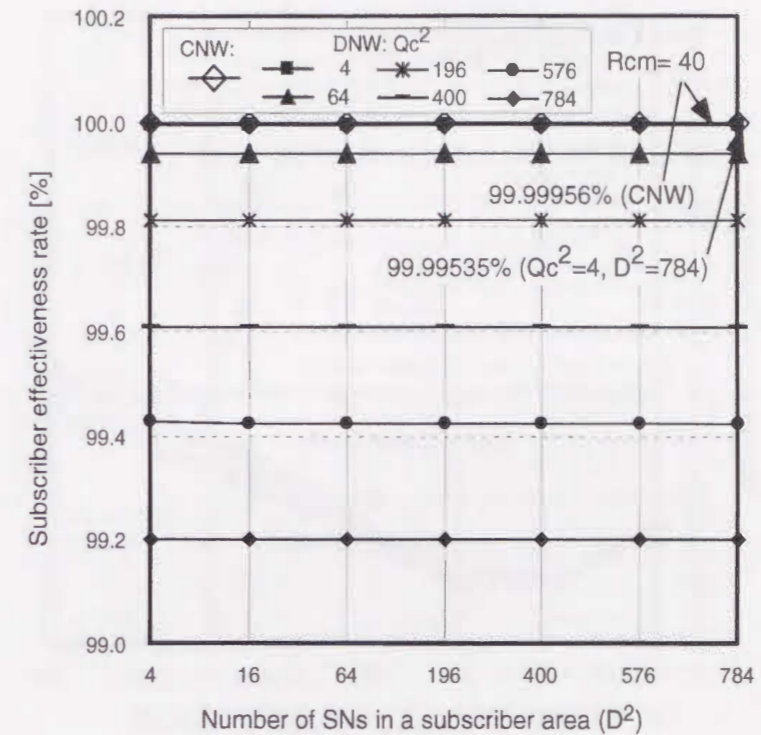


図 4.5 冗長構成 II での有効加入者率 (Rcm = 40)

RAT II は最も安価なネットワークの構築をねらい、DNW の構成をすべて 1 重化とした場合である。図 4.5 に呼制御信号増加係数 Rcm が 40 での有効加入者率を示す。

有効加入者率は、CNW がいちばん高く (99.99956%)、次に DNW の集約数 Qc² が 4 (99.99535%; 分割数 D² が 784 のとき) と順次集約数の増加に伴い減少している。この減少の程度は RAT I (図 4.3) より大きい。このことから、冗長構成を低減した RAT II では、RAT I に比べ CN での制御系集約による影響が大きく、急激に DNW の信頼性低下をまねくことがわかる。

この理由は、CN の各装置と制御リンク、信号リンクが 1 重化構成のため、集約数増加に伴う CN の所要処理能力増加による信頼性低下に加えて、制御リンクや信号リンクの距離増大による信頼性低下が顕著に現れたためである。したがって、CN で制御系集約を大きく行う場合には、これらの高信頼化を考慮する必要がある。

また、RAT II の有効加入者率 (図 4.5) は、RAT I (図 4.3) のように DNW が

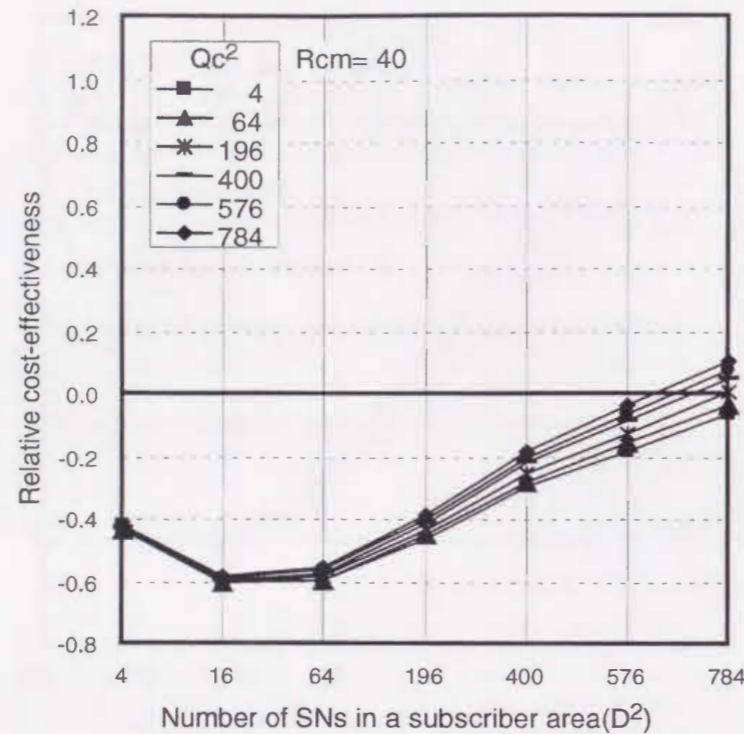


図 4.6 冗長構成 II での相対コスト有効性 (Rcm = 40)

CNW の有効加入者率を超えることはない。更に RAT II で最大の有効加入者率 (99.99535% ; 図 4.5, 集約数 4, 分割数 784) は, RAT I で最小の有効加入者率 (99.99585% ; 図 4.3, 集約数 784, 分割数 4) より更に小さい値である。このように, CN での制御系の集約や SN の小容量分散配置の程度にかかわらず RAT II の信頼性は RAT I より大幅に低下する。

RAT II の相対コスト有効性 (図 4.6) は, 分割数 576 まで負の値を示し, その最小値は RAT I (図 4.4) より小さくなっている。したがって, RAT II は RAT I より相対コスト有効性が改善していることがわかる。

このように, すべて 1 重化構成である RAT II は優れた相対コスト有効性を示すが, 信頼性そのものは CNW よりかなり劣る。そこで, 優れた相対コスト有効性を維持しながら, 冗長構成による信頼性配分により CNW 並の信頼性 (有効加入者率) となる DNW の構成を明確にするために, RAT II で有効加入者率が最大であった集約数 4 での DNW 構成装置の定常アベイラビリティを図 4.7 に示す。

この図では, CN の制御リンク通信装置の定常アベイラビリティが 0.999968

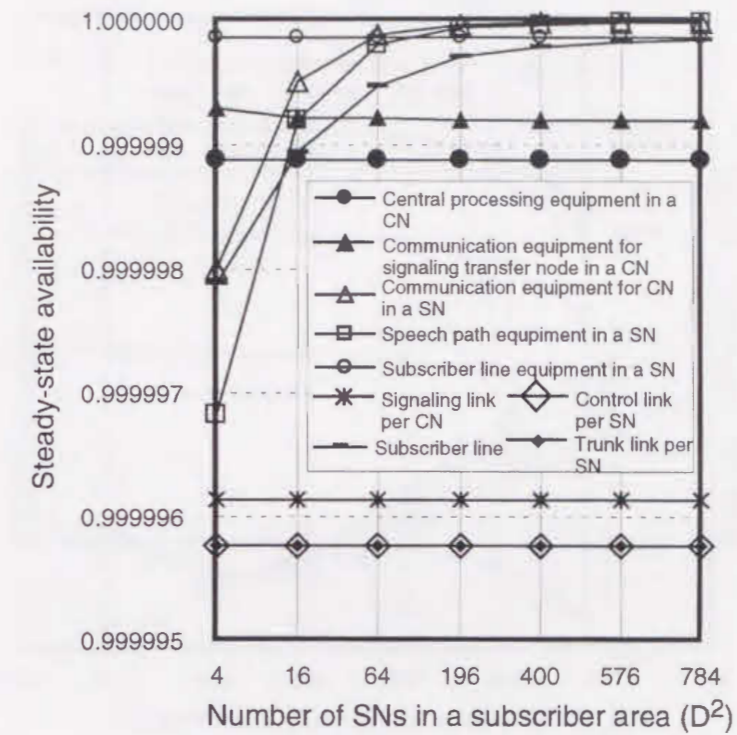


図 4.7 DNW の冗長構成 II での定常アベイラビリティ

(集約数 4, 分割数 4 のとき) と小さいので, スケールの関係から省略している。

ここで, 相対コスト有効性が優れていた分割数 16 (図 4.6) に着目すると, 図 4.7 に示した定常アベイラビリティは以下の順で大きくなっている。

CN の制御リンク通信装置 << 制御リンク ≤ 中継リンク < 信号リンク << CN の制御装置 < 加入者ライン < CN の信号リンク通信装置 ≤ SN の通話路装置 < SN の制御リンク通信装置 < SN の加入者装置

この結果, 定常アベイラビリティが大きい SN の各装置と CNW でも 1 重化構成である加入者ラインを 1 重化とし, それ以外の装置はすべて 2 重化構成とする RAT III で, CNW 並の信頼性と優れた相対コスト有効性が期待できる。その結果を次の (c) で示す。

なお, 図 4.7 で CN の制御リンク通信装置の定常アベイラビリティが極めて小さい理由は, この装置が CN 配下のすべての SN の呼制御信号処理を担い, それに必要な処理能力は CNW の通信装置の Rcm 倍必要とするため, 故障率が大きくなることによる。

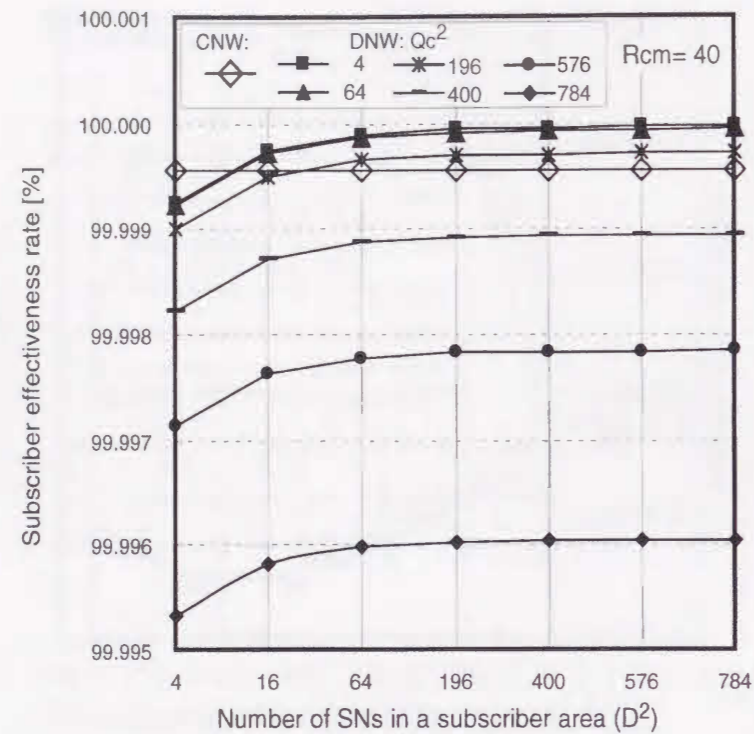


図 4.8 冗長構成 III での有効加入者率 (Rcm = 40)

CNの信号リンク通信装置の定常アベイラビリティは分割数の増加とともに減少している。これは、分割数の増加により SN 当りの収容加入者が減った結果、SN のノード外呼が増え、その呼制御信号を信号ノードへ伝達するために CN の信号リンク通信装置の所要処理能力増加で故障率が高くなったためである。

一方、通話路装置、SN の制御リンク通信装置、加入者ライン等の SN に関連する装置の定常アベイラビリティは、分割数とともに増加している。この理由は、分割数の増加に伴い、SN の収容加入者数の減少による所要処理能力の減少と加入者ライン距離短縮の結果、これら装置と加入者ラインの故障率が減少するためである。これに対して、SN 当りの制御リンク、中継リンクの定常アベイラビリティが分割数に対してほぼ一定なのは、分割数とともに評価領域に配置される SN の数が増加するが、評価領域の大きさが固定であるため SN 当りの各リンクの平均距離が変わらないことに起因している。

(c) 冗長構成 III (RAT III) の結果

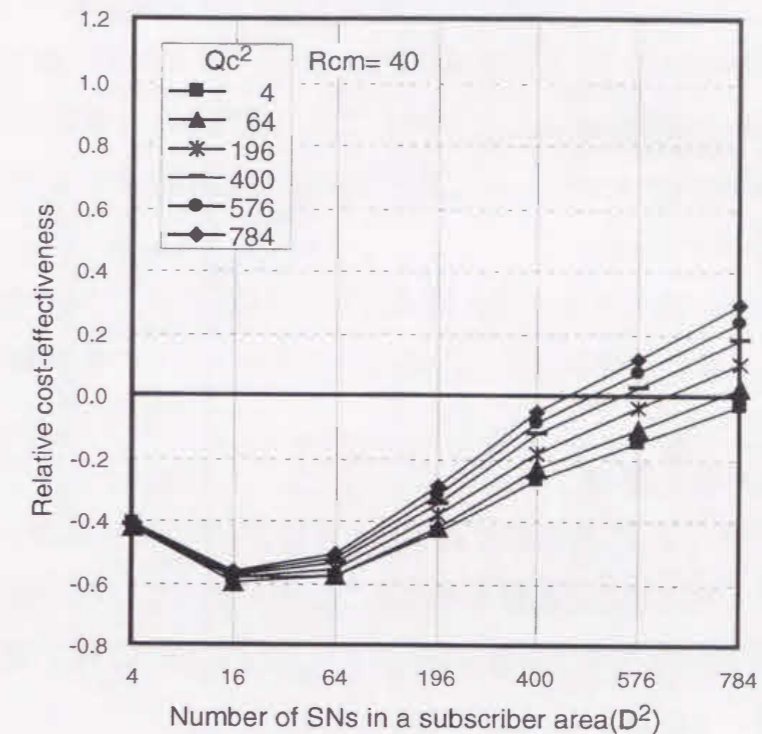


図 4.9 冗長構成 III での相対コスト有効性 (Rcm = 40)

RAT III は、前項の RAT II の結果をもとに冗長構成による信頼性配分を行い、優れた信頼性と相対コスト有効性をねらいとした構成である。

図 4.8 に呼制御信号増加係数 Rcm が 40 の場合の有効加入者率を示す。集約数 Qc^2 の増加に伴い有効加入者率が減少するのは RAT II と同じ傾向である。しかし、分割数 D^2 が 16 より大きく、集約数が 4 ~ 196 の範囲では、DNW の有効加入者率が CNW より高くなっていることが異なり、この冗長構成では、CNW より信頼性が良くなることがわかる。

図 4.9 に示す相対コスト有効性では、分割数が 400 以下の範囲で DNW が有利となり、分割数 16 で最小となつている。そのときの値は RAT II と大差ない。したがって、1 重化構成と同程度の相対コスト有効性が得られる。

これまで示した結果から冗長構成の違いによる信頼性は、例えば集約数 4、分割数 16 のとき、RAT II、RAT III、RAT I の順で良くなるが、RAT II の信頼性は CNW を超えることはなかった。一方、相対コスト有効性は RAT I、RAT III、RAT II の順で良くなり、いずれも CNW より優れている。

なお、図示していないが、図 4.7 で分割数 16 のときの各装置の定常アベイラビリティの順序から RAT III の冗長構成に加えて、CN の制御装置と CN の信号リンク通信装置も 1 重化構成とした DNW では、相対コスト有効性は RAT III よりわずかに有利になる。しかし、同じ集約数での信頼性は RAT III を超えることはない結果が得られている。

このように DNW は、SN を 1 重化構成とする RAT III で、CNW より信頼性とコスト有効性とも優れ、最もバランスのとれたネットワークを構築できる。

(2) 呼制御信号数の影響

DNW を構築するうえで、呼当りに必要な CN と SN 間の通信数は、性能やネットワーク構築コストに大きな影響を与えることがわかっている (第 2 章, 第 3 章)。そこで、呼制御信号増加係数 Rcm が 5 の RAT I と RAT III の結果を図 4.10 ~ 図 4.13 に示す。

RAT I について、Rcm が 5 の図 4.10 と Rcm が 40 の図 4.3 とを比較すると、集約数 Qc^2 の増加に伴い有効加入者率が減少する傾向は同じである。しかし、Rcm が小さい図 4.10 ではその減少率が小さく、その結果、DNW の有効加入者率はすべての集約数で CNW より高くなっている。また、同じ集約数では Rcm が小さい図 4.10 のほうが図 4.3 より有効加入者率が高い。これは、集約数とともに CN を構成する各装置の処理能力が増加して信頼性低下をまねくが、Rcm が小さいために集約数の増加による影響がいちばん大きかった CN の制御リンク用通信装置の信頼性低下が抑制されたためである。RAT III での Rcm の違いによる影響について、図 4.12 と図 4.8 を比較しても上記と同様のことがいえる。したがって、CN と SN 間の呼制御信号数が少ないほうが高信頼性が得られることがわかる。このため、CN と SN 間の呼制御方式の検討にあたっては、呼制御信号数を削減することが非常に重要となる。

Rcm が 5 について、冗長構成の違いについて比較すると、図 4.10 の RAT I では、DNW の有効加入者率がすべての分割数 D^2 の範囲で CNW より高くなっている。しかし、図 4.12 の RAT III では分割数が 16 以上の場合である。この理由は、RAT III では SN の構成が 1 重化構成のため、SN の小規模分散配置を行って

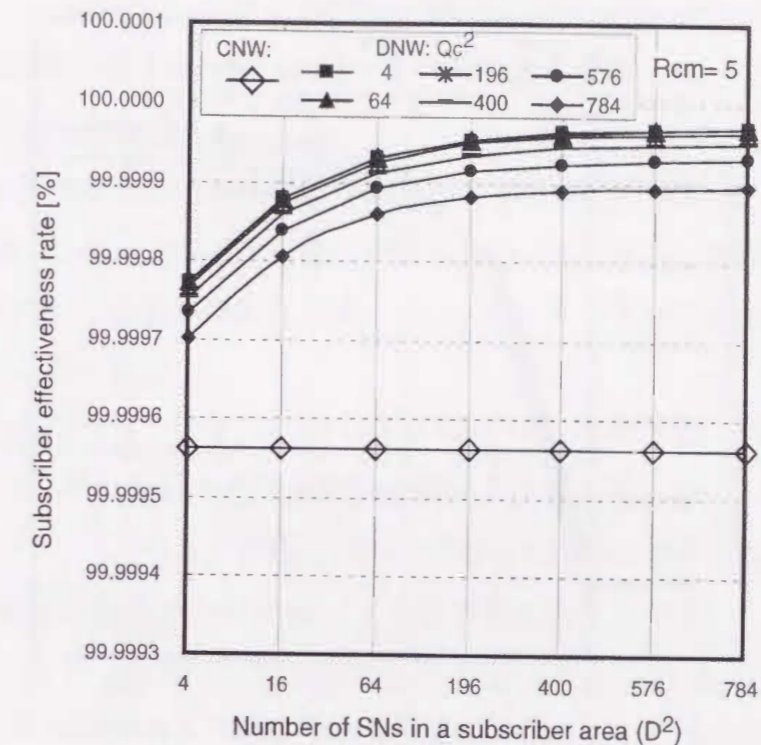


図 4.10 冗長構成 I での有効加入者率 (Rcm = 5)

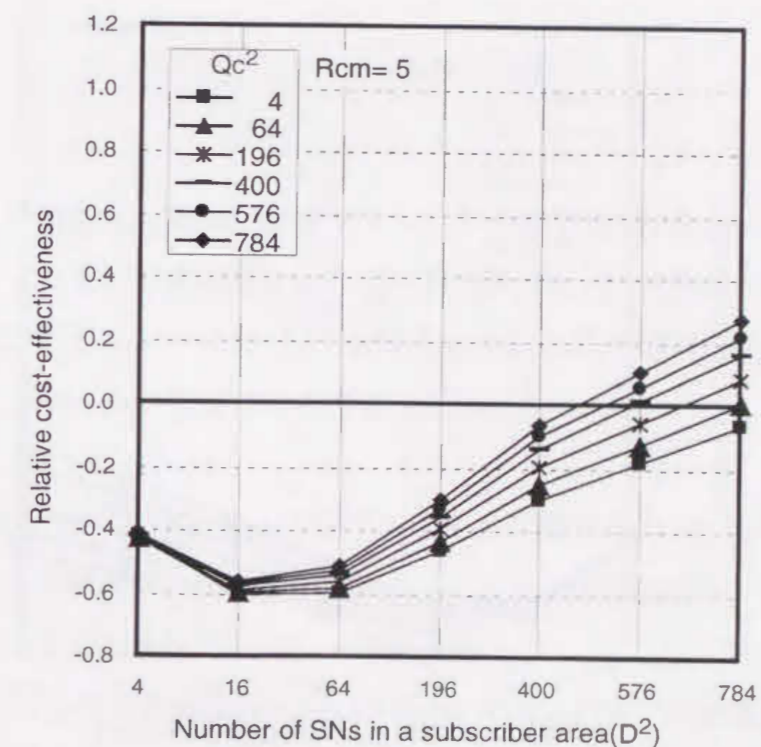


図 4.11 冗長構成 I での相対コスト有効性率 (Rcm = 5)

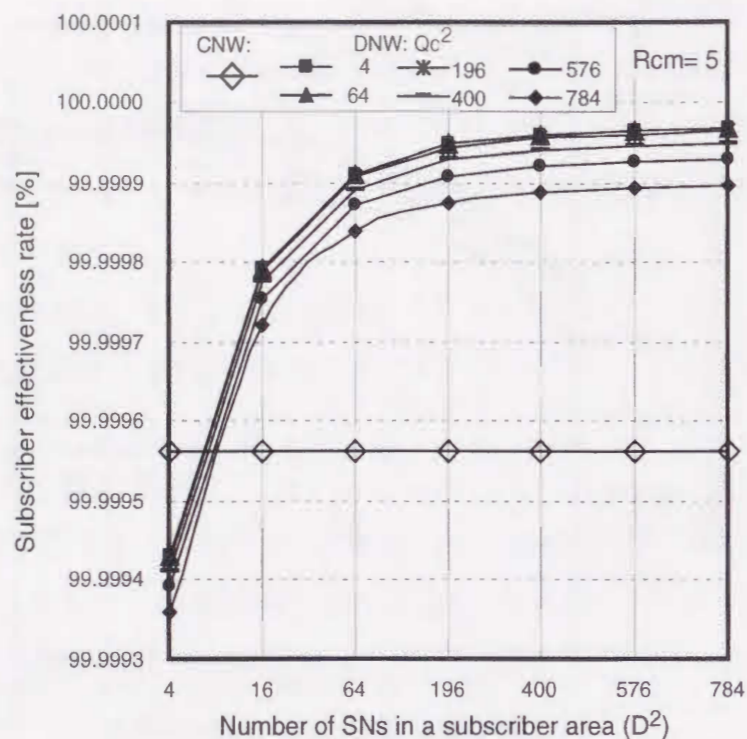


図 4.12 冗長構成 III での有効加入者率 (Rcm = 5)

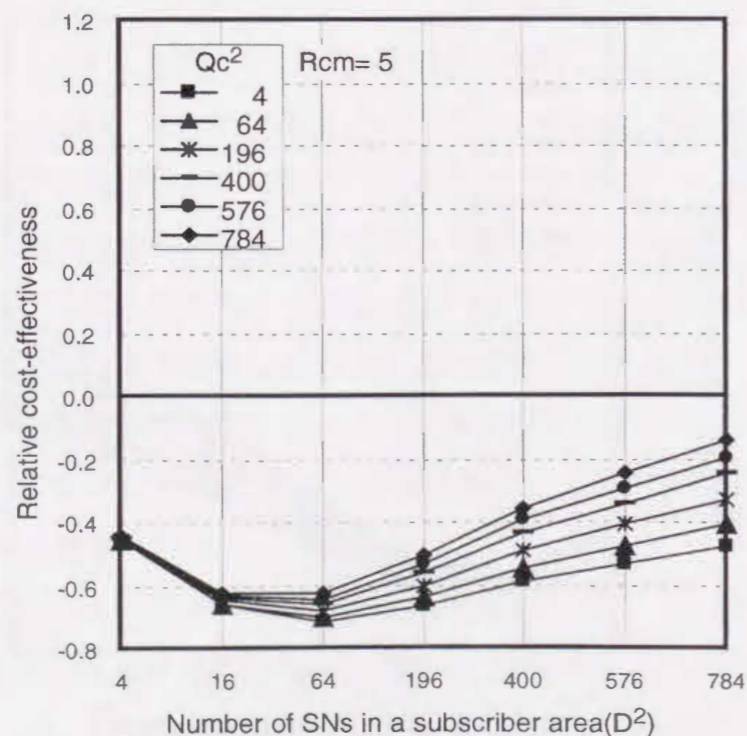


図 4.13 冗長構成 III での相対コスト有効性 (Rcm = 5)

も分割数が小さい範囲では SN の信頼性が顕著に向上しないためである。集約数
が同じ場合では、RAT I が RAT III より高い有効加入者率となっており、Rcm が
40 の場合と同じ結果である。

これらの結果から、CN と SN 間の呼制御信号数が同じでは RAT I が RAT III よ
り信頼性は高くなる。また、冗長構成が同じときには CN と SN 間の呼制御信号
数が少ない DNW のほうが信頼性が高くなり、CN での集約数増加による信頼性
低下の程度も小さくなる。

相対コスト有効性について、Rcm が 5 の図 4.11、図 4.13 は、Rcm が 10 の図
4.4、図 4.9 よりそれぞれ大きな分割数の範囲まで負の値となり、その最小値も
小さくなっている。このことから、DNW では冗長構成の違いによらず、CN と
SN 間の呼制御信号数の減少が相対コスト有効性も向上させる。

以上より、CN と SN 間の呼制御信号数を減少させることは、DNW の信頼性
と相対コスト有効性の向上に重要である。特に、CN での制御系集約を大きくす
るようなネットワークを構築する場合には、CN と SN 間の呼制御信号数を減少
させることで信頼性は大幅に改善する。

4.5 結 言

本章では、大規模な分散型公衆通信ネットワーク (DNW) の信頼性とコスト有
効性について、従来型公衆通信ネットワーク (CNW) と比較評価を行った。その
結果、以下のことが明らかになり、DNW は CNW に比べ信頼性やコスト有効性
の優れたネットワークの構築できることがわかった。

- (1) 通話路系ノード (SN) と加入者ラインを 1 重化構成とし、制御系ノード (CN)
やその他の伝送路を 2 重化構成とすることで (RAT III), CNW より信頼性と
コスト有効性とも優れた DNW が構築できる。
- (2) CNW と同様の冗長構成 (RAT I) の DNW では、CN での制御系集約が少な
いときに、CNW より信頼性とコスト有効性が良くなる。しかし、CN での

制御系集約を大きくすると DNW の信頼性は大幅に減少する。

- (3) DNW の構成装置をすべて 1 重化構成とすると (RAT II), コスト有効性は CNW より優れるが, 信頼性は CNW を超えることはない。また, CN での制御系集約を大きくすると DNW の信頼性は急激に減少する。
- (4) DNW の信頼性は, SN の小容量分散配置を行うほど高くなり, CN での制御系集約の規模が大きくなると低下する。一方, 相対コスト有効性は, SN の小容量分散配置を行うとともに向上するが, 行いすぎると低下し, CN での制御系集約が小さいほど優れている。このため, CN での集約は少ないほうが良く, SN の小容量分散配置は行いすぎると CNW よりコスト有効性を損なうことになる。
- (5) DNW の信頼性とコスト有効性を大幅に向上させるには, CN と SN 間の呼制御信号数を減少させることが非常に有効である。特に, CN での制御系集約による信頼性低下を大きく抑制する効果がある。このため, 大規模な CN で多数の小規模 SN を制御する場合には, 呼制御信号数を減少させることが非常に重要になる。

第 5 章 結 論

以上, 本論文では分散型ネットワークアーキテクチャに基づく大規模な公衆通信ネットワークの研究として, 分散型公衆通信ネットワークの性能特性, ネットワーク構築コスト, ネットワークの信頼性とそのコスト有効性について述べ, 従来型の大規模公衆通信ネットワークと比較して, 低コストで高信頼性を得る大規模分散型公衆通信ネットワークの構築方法について明らかにした。

呼処理性能の観点からみると, 分散型公衆通信ネットワークのように分散配置した多数の通話路系ノードを少数の制御系ノードで遠隔制御する場合の最適な構成とは, 低コストで高い呼処理量と短い呼処理時間となる構成である。第 2 章で明らかにしたように, 均衡コミュニティはコミュニティ内の制御系ノードと通話路系ノードのプロセッサ能力及び伝送路の能力を最も有効に活用できる。また, 制御系ノードのプロセッサ能力が大きく, 制御系ノードの機能分担の小さい均衡コミュニティは, 呼処理量と呼処理時間に関して有利であるばかりでなく, 低コストになる。したがって, 性能的にもコスト的に優れた分散型公衆通信ネットワークは, 以下のように構築することを明らかにした。

- (1) 均衡コミュニティにする。
- (2) 通話路系ノードに比べて制御系ノードの機能分担を小さくする。
- (3) 通話路系ノードに比べて制御系ノードのプロセッサ能力を大きくする。
- (4) 制御系ノードと通話路系ノード間での呼当りの通信数を少なくする。

第3章では、ネットワーク構築コストの観点から、大規模な分散型公衆通信ネットワークが従来型の公衆通信ネットワークに比べて、経済的に優位性を持ち、それを向上するためのネットワーク構築条件について述べた。その結果、以下の条件下で分散型公衆通信ネットワークを構築することで、従来型の公衆通信ネットワークより経済性のあるネットワークを構築できることを明らかにした。

- (1) 制御系ノードは集約得の効果が得られる装置で構成する。
- (2) 小容量通話路系ノードは、分割損を生じない装置構成にする。特に、呼の平均保留時間が長いときは、通話路装置の分割損を生じない装置構成にする。
- (3) 制御系ノードと通話路系ノード間での呼当りの通信数を低減させる。また、制御系ノードと通話路系ノードそれぞれに配置される制御リンク通信装置は可能な限り安価な装置構成することも重要である。
- (4) 単位伝送情報量当りの加入者ラインコストが高く、制御リンク、中継リンク、信号リンクの各コストが安いほど、分散型公衆通信ネットワークは有効である。
- (5) リンクコストが安く、かつ、制御系ノードで集約得の効果が得られるときは、制御系ノードでの制御系の集約程度を大きくする。
- (6) 加入者ラインコストが高く、かつ、通話路系ノードで分割損の影響がないときは、通話路系ノードの小容量分散配置を行う。なお、加入者ラインコストが安い場合や分割損の影響が大きいときは、分散配置を行わずと経済的効果が得られなくなることがある。

第4章では、ネットワークの信頼性とそのコスト有効性について、大規模な従来型の公衆通信ネットワークと分散型公衆通信ネットワークを比較評価した。その結果、従来型の公衆通信ネットワークに比べ信頼性とそのコスト有効性の優れた大規模な分散型公衆通信ネットワークは、以下の条件下で構築すれば良いことを明らかにした。

- (1) 通話路系ノードと加入者ラインを1重化構成とし、制御系ノードやその他の伝送路を2重化構成とする。
- (2) 制御系ノードと通話路系ノード間での呼当りの通信数を減少させる。特に、高性能な制御系ノードで多数の小容量通話路系ノードを制御する場合には、制御系ノードと通話路系ノード間での呼当りの通信数を低減させることが非常に有効である。
- (3) 分散型公衆通信ネットワークの信頼性とコスト有効性は、制御系ノードでの制御系集約が少ないほうが良く、通話路系ノードの小容量分散配置は行ったほうが良い。しかし、通話路系ノードの小容量分散配置は行いすぎると従来型の公衆通信ネットワークよりコスト有効性を損なうことがある。

本研究に関する今後の課題は、多数の通話路系ノードを制御する少数の高性能な制御系ノードで間の負荷分散方式と、ネットワークサービスを実現するソフトウェアオブジェクトの移送方式の提案、及びこれらの評価が挙げられる。これらの研究成果は、変動するトラヒック条件への適応性向上とネットワークサービスの迅速な提供、更には、特定地域に限定した特別なサービス提供を容易にするばかりでなく、フィールドテストによる先行的なサービスの試験や需要予測などにも活用できる。

また、大規模公衆通信ネットワークにおいては、その保守・運用性を無視することはできない。保守性の向上と運用コスト低減を図るために、遠隔集中制御の保守・監視システムが次々開発されているが、これがネットワーク故障時にも有効に対応できるのはソフトウェア故障と限られたハードウェア故障に留まっているのが現状である。特にハードウェア故障では、直接故障箇所へ赴き修復を要する場合が少なからず存在する。このような修理を行うために必要な保守拠点の設置方法についても、大規模な分散型公衆通信ネットワークを考えるうえで重要な課題である。

今後は、大規模分散型公衆通信ネットワークにおける上記の課題について、研究を進めていく予定である。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、直接懇切丁寧なご指導とご鞭撻を賜りました徳島大学工学部 知能情報工学科 矢野米雄教授に深謝いたします。

本件研究に関してご指導ならびに有益なご意見を賜りました徳島大学工学部 知能情報工学科 森井昌克教授、大恵俊一郎教授に深く感謝いたします。

また、本研究をまとめるにあたって、あたたかい励ましと懇切なご助言ならびにご鞭撻を賜りました徳島大学工学部 化学応用工学科 森吉孝教授（現、香川県高温高圧流体技術研究所所長）に心から感謝いたします。

本研究は、筆者がNTT 未来ねっと研究所において、研究業務の一環として担当してきたものであり、その間、懇切なご指導を頂いたNTT 未来ねっと研究所 ネットワークインテリジェンス研究部 山田茂樹部長（現、国立情報学研究所 情報基盤研究系教授）、小柳恵一部長、久保田稔主幹研究員、に感謝いたします。

本研究の機会を与您いただくとともに、研究遂行のためのご支援を頂いたNTT 情報流通総合研究所 鈴木滋彦所長、同総合研究所 荒木伸夫企画部長、NTT 未来ねっと研究所 河内正夫所長、同研究所 正村達郎企画部長、の諸氏に厚く御礼申し上げます。

最後に、常に筆者を支え励ましてくれた妻幸子と息子佳孝、娘侑佳、そして両親に感謝します。

参考文献

【第1章】

- [1]K. Maruyama and K. Kubota, "PLATINA: Platform for Telecommuincation and Information Network Applications," TINA 92, no. 13-2, Narita, Japan, Jan. 1992.
- [2] 鈴木滋彦, 山田茂樹, 岡田忠信, "分散処理ネットワークアーキテクチャ DONA の基本構想," 信学技報, SSE96-63, vol. 96, no. 251, pp. 25-30, 1996.
- [3]S. Suzuki, S. Yamada, M. Kubota, I. Kogiku, and M. Matsuo, "DONA: Distributed Object-oriented Network Architecture for Revolutionary Network Reconstruction," ISS'97, no. 12-4, pp. 459-466, Toronto, Canada, Sept. 1997.
- [4] S. Yamada, M. Matsuo, H. Matsumura, I. Kogiku, and M. Kubota, "Implementation and Evaluation of a Distributed Processing Network with Separated Switching and Control Nodes," IEICE Trans. Commun., vol. E-82-B, no. 6, pp. 886-896, 1999.
- [5] 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, 小川 聡, "分散ネットワークアーキテクチャ DONA に基づくネットワークの性能特性," 信学論 (B-I), vol. J81-B-I, no. 12, pp. 817-826, 1998.
- [6] 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, "制御系と通話路系を分離した通信ネットワークのコスト評価," 信学論 (B), vol. J83-B, no. 4, pp. 434-445, 2000.
- [7] 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, "制御系と通話路系を分離した通信ネットワークの信頼性とコスト有効性," 信学論 (B), vol. J83-B, no. 8, pp. 1135-1147, 2000.
- [8]D. R. Cheriton, "The V Distributed System," Comm. of the ACM, vol. 31, no. 3, pp. 314-333, 1988.
- [9]W. J. Barr, T. Boyd, and Y. Inoue, "The TINA Initiative," IEEE Comm., Mag., vol. 31, no. 3, pp. 70-76, 1993.

- [10] 久保田 稔, 丸山勝己, "通信網のための分散処理プラットフォーム," 信学論 (B-I), vol. J79-B-I, no. 5, pp. 301-309, 1996.
- [11] Z. Yang and K. Duddy, "CORBA: A Platform for Distributed Object Computing," Operating Systems Review, vol. 30, no. 2, pp. 4-31, 1996.

【第2章】

- [1] 鈴木滋彦, 山田茂樹, 岡田忠信, "分散処理ネットワークアーキテクチャ DONA の基本構想," 信学技報, SSE96-63, vol. 96, no. 251, pp. 25-30, 1996.
- [2] S. Suzuki, S. Yamada, M. Kubota, I. Kogiku, and M. Matsuo, "DONA: Distributed Object-oriented Network Architecture for Revolutionary Network Reconstruction," ISS'97, Toronto, Canada, no. 12-4, pp. 459-466, Sept. 1997.
- [3] 小山 稔, 田中公紀, 平松幸男, 金 克能, "新ノードソフトウェア基盤技術," NTT R&D, vol. 45, no. 6, pp. 535-542, 1996.
- [4] 門田充弘, 西川原賢二, 小菊一三, 大南正人, "新ノード共通プラットフォームソフトウェア構成技術," NTT R&D, vol. 45, no. 6, pp.543-550, 1996.
- [5] C.Barret, Micro2010, Microprocessor Forum, 1994.
- [6] 森野明彦, 矢野陽一, "マイクロプロセッサを16個搭載, 汎用性維持と高性能化を両立," 日経マイクロデバイス, pp. 50-54, July 1995.
- [7] 山田茂樹, 田中 聡, "通信網分散処理用ノードアーキテクチャ MESCAR の構成法," 信学論 (B-I), vol. J79-B-I, no. 5, pp. 293-300, 1996.
- [8] 山田茂樹, "通信網分散処理ノードアーキテクチャ MESCAR における近距離メッセージ通信の性能評価シミュレーション," 信学技報, SSE95-178, vol. 95, no. 577, pp. 15-22, 1996.
- [9] 長尾 真, 石田晴久, 稲垣康喜, 田中英彦, 辻井潤一, 所 真里雄, 中田育男, 米澤明憲, pp. 192. 岩波情報科学辞典, 1990.

【第3章】

- [1] 鈴木滋彦, 山田茂樹, 岡田忠信, "分散処理ネットワークアーキテクチャ DONA の基本構想," 信学技報, SSE96-63, vol. 96, no. 251, pp.25-30, 1996.

- [2] S.Suzuki, S.Yamada, M.Kubota, I.Kogiku, and M.Matsuo, "DONA: Distributed Object-Oriented Network Architecture for Revolutionary Network Construction," ISS '97, no. 12-4, pp. 459-465, Toronto, Canada, Sept. 1997.
- [3] S.Yamada, M.Matsuo, H.Matsumura, I.Kogiku, and M.Kubota, "Implementation and Evaluation of a Distributed Processing Network with Separated Switching and Control Nodes," IEICE Trans. Commun., vol. E-82-B, no. 6, pp. 886-896, 1999.
- [4] 山田茂樹, 松村 一, "分散ネットワークアーキテクチャ DONA の性能評価シミュレーション," 信学技報, SSE97-74, vol. 97, no. 242, pp.37-42, 1997.
- [5] 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, 小川 聡, "分散ネットワークアーキテクチャ DONA に基づくネットワークの性能特性," 信学論 (B-I), vol. J81-B-I, no. 12, pp. 817-826, 1998.
- [6] 山田茂樹, 松村 一, "制御系, 通話路系分離型ネットワーク DONA- α のコスト評価モデルの構築," 信学技報, SSE98-51, vol. 98, no. 240, pp. 1-6, 1998.
- [7] C.Barret, Micro2010, Microprocessor Forum, 1994.
- [8] 森野明彦, 矢野陽一, "マイクロプロセッサを16個搭載, 汎用性維持と高性能化を両立," 日経マイクロデバイス, pp.50-54, July 1995.
- [9] 長尾 真, 石田晴久, 稲垣康喜, 田中英彦, 辻井潤一, 所 真里雄, 中田育男, 米澤明憲, 岩波情報科学辞典, pp.192, 岩波書店, 1990.
- [10] 日経データプロ EDP, 日経 BP 社, Jan. 2nd. 1995.
- [11] 日経データプロ EDP, 日経 BP 社, Dec. 4th. 1995.
- [12] 日経エレクトロニクス, no.720,99, pp.75-105, 日経 BP 社, July 1998.
- [13] 日経コミュニケーション別冊, 通信サービス利用ガイドブック 1997, pp.104-162, 日経 BP 社, 1997.

【第4章】

- [1] 山田茂樹, 松村 一, "分散ネットワークアーキテクチャ DONA の性能評価シミュレーション," 信学技報, SSE97-74, vol. 97, no. 251, pp.37-42, 1997.
- [2] 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, 小川 聡, "分散ネットワークアーキテクチャ DONA に基づくネットワークの性能特性," 信学論 B-I, vol. J81-B-I, no.

- 12, pp. 817-826, 1998.
- [3] 山田茂樹, 松村 一, "制御系, 通話路系分離型ネットワーク DONA- α のコスト評価モデルの構築," 信学技報, SSE98-51, vol. 98, no. 240, pp. 1-6, 1998.
- [4] 松村 一, 山田茂樹, 久保田 稔, "制御系と通話路系を分離した通信ネットワークのコスト評価," 信学論 (B), vol. J83-B, no. 4, pp. 434-445, 2000.
- [5] 塩見 弘, コンピュータリライアビリティ, 昭晃堂, 東京, 1967.
- [6] "MIL-HDBK-217C," Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1974.
- [7] H.Ricker, P.Manno, "Microprocessor and LSI Microcircuit Rel. Prediction Model," IEEE, R-29, no. 3, pp. 196, 1980.
- [8] 平岡一則, "統計シミュレーションによる LSI 要素技術の信頼度予測," 信学技報, R97-13, vol. 97, no. 351, pp. 17-22, 1997.
- [9] J.J.Naresky, "R/M Research in U.S. AIR Force," Proc. 5th R/M Conf., pp. 769, 1966.
- [10] 塩見 弘, 信頼性工学入門, 丸善, 東京, 1996.

付 録

【第 3 章】

3-1. 平均加入者ライン距離が $L/2$ の導出

第 3 章の図 3.4 に示すように, 加入者ノードを原点に, 一辺が X の小正方形の中心に加入者が 1 人存在し, その座標位置を (i, j) とする. 但し, L は $2X$ の整数倍とする. 第 1 象限について, 加入者数は $(L/2X)^2$ で, 加入者ライン距離 $d(i, j)$ は, 次式で表される.

$$\begin{aligned} d(i, j) &= (i-1)X + 0.5X + (j-1)X + 0.5X \\ &= (i+j-1)X \end{aligned}$$

したがって, 加入者当りの平均距離は次式となる.

$$\begin{aligned} \overline{d(i, j)} &= \frac{\sum_{i=1}^{L/2X} \sum_{j=1}^{L/2X} (i+j-1)X}{(L/2X)^2} \\ &= L/2 \end{aligned}$$

3-2. P_{sn} と P_o の関係式の導出

加入者ノードの総呼量を A とする. トラヒックの対称性から発信呼量と着信呼量が同じと仮定しているため, 加入者ノードのノード外発信呼量, ノード外着信呼量とも $P_o A/2$ となる.

加入者ノードは D^2 台のSNに分割されるので、 $P_0A/2D^2$ は加入者ノードのノード外発信呼量のうち、SN 1台からの呼量に相当する。残りの $(1-P_0)A/2D^2$ は、従来、加入者ノード内で接続されていた呼量である。この呼量は $1/D^2$ の確率で発信元のSNへの呼量となるが、 $1-1/D^2$ の確率は分割された D^2-1 台の別のSNへの呼量である。この別のSNへの呼量 $(1-1/D^2)(1-P_0)A/2D^2$ は、SNのノード外発信呼量となるので、SNのノード外発信呼量は次式で表される。

$$P_0A/2D^2 + (1 - 1/D^2)(1 - P_0)A/2D^2 \quad (\text{A-1})$$

一方、SNのノード外着信呼量についても、加入者ノードのノード外着信呼量からSN当りの呼量は $P_0A/2D^2$ となる。これに、加入者ノードを分割した D^2-1 台の別のSNからの呼量が、 $(D^2-1)(1/D^2)(1-P_0)A/2D^2$ なので、SNのノード外着信呼量は次式となる。

$$P_0A/2D^2 + (D^2 - 1)(1/D^2)(1 - P_0)A/2D^2 \quad (\text{A-2})$$

SNのノード外呼量 $P_{sn}A/D^2$ は(A-1),(A-2)の合計となるので、以下の式が成立する。

$$P_{sn}A/D^2 = P_0A/2D^2 + (1 - 1/D^2)(1 - P_0)A/2D^2 + P_0A/2D^2 + (D^2 - 1)(1/D^2)(1 - P_0)A/2D^2$$

$$\therefore P_{sn} = P_0 + (1 - P_0)(1 - 1/D^2)$$

【第4章】

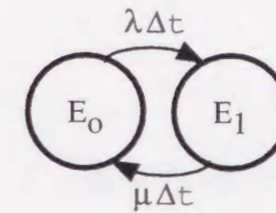
4-1. 定常アベイラビリティの導出

1重化構成装置と2重化構成装置において、故障している装置の台数を j と

し、 j 台故障している状態を E_j と表記する。また、時刻 t で状態 E_j にある確率を $P_j(t)$ と表わす。装置の故障率を λ 、装置の修理率を μ ($=1/\text{平均修理時間}$)と表し、ともに時間 t に無関係に一定である(第4章の4.4.1(2))。

(1) 1重化構成装置

1重化構成装置では、装置が故障している状態 E_1 と故障がなく正常な状態である E_0 の2つの状態のみが存在する。前述の条件より、マルコフ状態遷移図は図A.1のようになり、式(A-3)の状態方程式を得る。



図A.1 1重化構成装置のマルコフ状態遷移図

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= -\mu P_1(t) + \lambda P_0(t) \end{aligned} \right\} \quad (\text{A-3})$$

1重化構成装置のアベイラビリティ $A_s(t)$ は、 E_0 の状態における確率である(式(A-4))。定常アベイラビリティは、 $t \rightarrow \infty$ でのアベイラビリティなので、式(A-3),(A-4)及び初期条件(式(A-5))と正規化条件(式(A-6))より、式(A-7)を得る。

$$A_s(t) \equiv P_0(t) \quad (\text{A-4})$$

$$\left. \begin{aligned} P_0(0) &= 1 \\ P_1(0) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (A-5)$$

$$\sum_{i=0}^1 P_i(t) = 1 \quad (A-6)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} A_S(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (A-7)$$

(2) 2重化構成装置

2重化構成装置においては、両系とも故障していない状態 E_0 、片系のみが故障している状態 E_1 、両系とも故障している状態 E_2 が存在する。

第4章の4.4.1(2)で述べたように、運転形態は待機2重系運転、待機系は故障せず、系の切り換えは100%成功し、両系故障時には片系ずつ修理されるものとしている。これにより、マルコフ状態遷移図は、図A.2のようになり、状態方程式は式(A-8)となる。

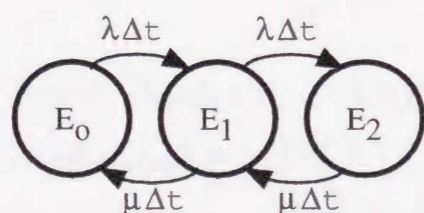


図 A.2 2重化構成装置のマルコフ状態遷移図

2重化構成装置のアベイラビリティ $A_D(t)$ は、 E_0 と E_1 の状態における確率なので式(A-9)となり、 $t \rightarrow \infty$ でのアベイラビリティが定常アベイラビリティである。したがって、式(A-8),(A-9)及び初期条件(式(A-10))と正規化条件(式(A-11))より、式(A-12)を得る。

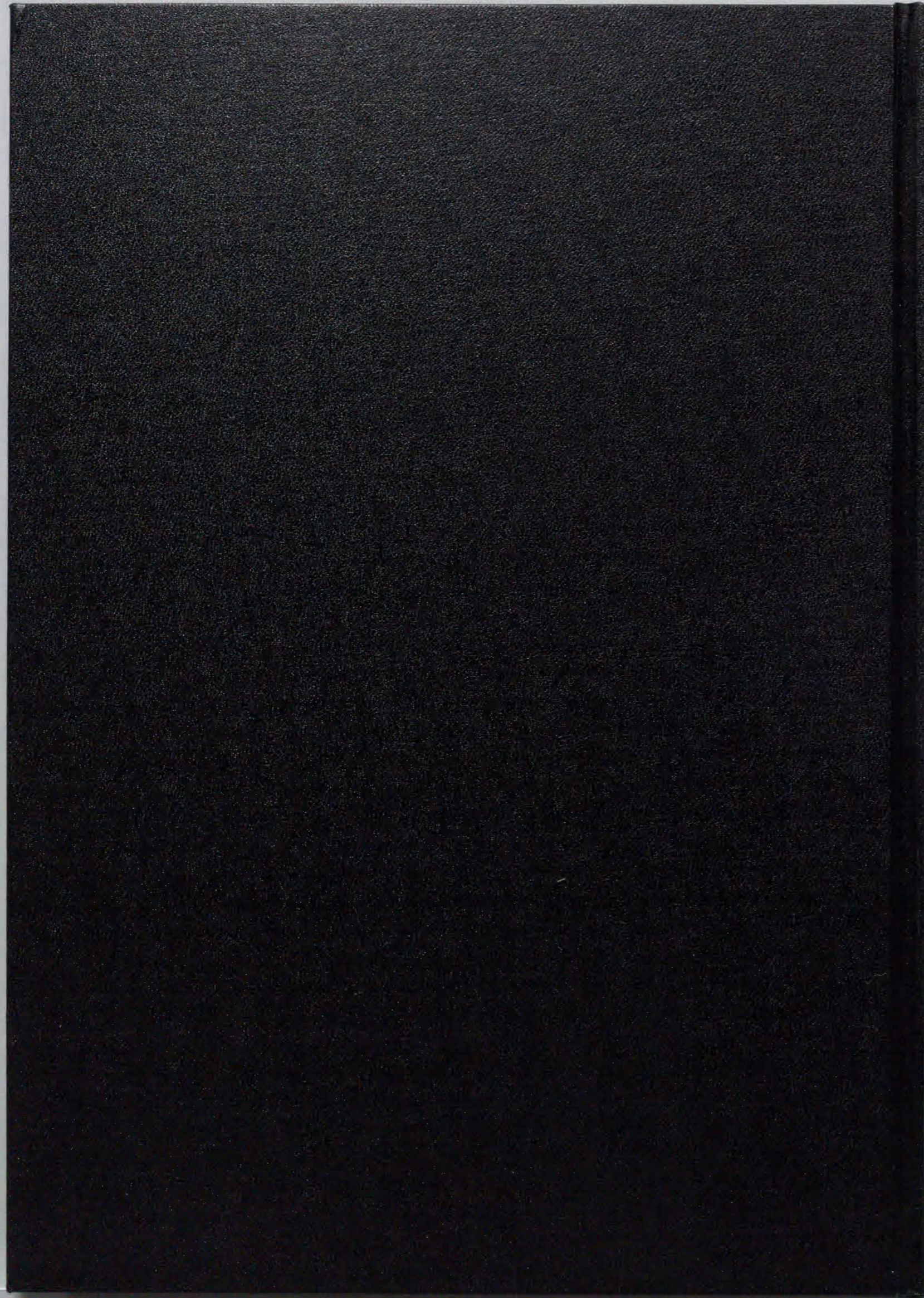
$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(\lambda + \mu)P_1(t) + \lambda P_0(t) + \mu P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= -\mu P_2(t) + \lambda P_1(t) \end{aligned} \right\} \quad (A-8)$$

$$A_D(t) \equiv \sum_{i=0}^1 P_i(t) \quad (A-9)$$

$$\left. \begin{aligned} P_0(0) &= 1 \\ P_1(0) &= P_2(0) = 0 \end{aligned} \right\} \quad (A-10)$$

$$\sum_{i=0}^2 P_i(t) = 1 \quad (A-11)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} A_D(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^1 P_i(t) = \frac{\mu^2 + \lambda\mu}{\lambda^2 + \lambda\mu + \mu^2} \quad (A-12)$$



論文審査の結果の要旨

報告番号	甲 工 乙 工 工 修	第 60 号	氏 名	松 村 一
審査委員	主 査	矢 野 米 雄		
	副 査	大 恵 俊 一 郎		
	副 査	森 井 昌 克		
学位論文題目 分散型ネットワークアーキテクチャに基づく大規模な公衆通信ネットワーク				
審査結果の要旨 <p>本博士論文は、分散型ネットワークアーキテクチャによる大規模な公衆通信ネットワークの性能特性、ネットワーク構築コスト、ネットワークの信頼性とそのコスト有効性を明らかにするとともに、その要因を分析し、従来型の大規模公衆通信ネットワークと比較して、低コストで高性能、高信頼性となる大規模な分散型公衆通信ネットワークの構成方法について述べたものである。分散型ネットワークアーキテクチャは、従来型の公衆通信ネットワークを構成するノードシステムの制御系と通話路系をそれぞれ制御系ノード、通話路系ノードとしてネットワーク上に分散配置したものであり、このアーキテクチャを適用した大規模な公衆通信ネットワークについて評価分析している。このような構造のネットワークでは、制御系ノードと通話路系ノード間の通信処理遅延や伝播遅延の影響により性能劣化が危惧されるが、制御系ノード数と通話路系ノード数の関係や、これらノード間の通信数と機能分担、および、制御系ノードと通話路系ノードの性能、の影響を考察して、十分な性能を得られるネットワークの構成方法を明らかにした。ネットワーク構築コストに関しては、従来型の大規模な公衆通信ネットワークと比較評価し、分散型公衆通信ネットワークが低コストで構築できることを明らかにするとともに、その要因を詳細に解析することで従来型公衆通信ネットワークより経済的に構築可能な大規模分散型公衆通信ネットワークの構成条件を示した。さらに、ネットワークの信頼性とそのコスト有効性についても、従来型の公衆通信ネットワークと対比しながら、分散型公衆通信ネットワークが有利となる構成条件を明らかにした。大規模な公衆通信ネットワークは、ライフラインとしての使命をもつほか、さまざまな経済活動を行ううえで必要不可欠なものである。また、近年、マルチメディアサービスの発展と、低価格の計算機や携帯端末の出現により、公衆通信ネットワークの利用形態が多様化している。このような状況下、厳しい同時接続性、実時間性、信頼性という条件を満たすだけでなく、さまざまな通信サービスの迅速な提供と経済的な通信コストに対する要求に応え得る大規模な公衆通信ネットワークの実現が期待される。</p> <p>以上の結果より、本研究において提案された手法は理論的に独創性があり、それらを用いた結果の一部は実用性もあるので、本論文は博士（工学）の学位授与に値するものと判定する。</p>				