

稼働率の改善を目的とした自律分散型大学ネットワークシステムの実装と運用

八代一浩[†] 菊池豊^{††} 林英輔^{†††}

インターネットが広く普及し、社会基盤になっている。これに伴い、大学ネットワークの運用目的も大きく変化している。これまで、大学のネットワークは教育と研究を中心としていた。しかし、現在では、大学業務システムの運用や外部とのコミュニケーションの道具として必要不可欠となっている。そのため、利用者からは、ネットワークを停止しない運用が求められている。

このような環境下で、本論文では、まず、停止しない運用を行うための運用モデルの提案を行う。提案するモデルでは、運用ポリシーが異なるネットワークをそれぞれ自律分散したネットワークに分割する。そして、自律分散したネットワークを高速な回線を用いて相互接続することにより実現する。次に、この運用モデルにもとづき地域情報基盤を利用して行った実装を示す。そして実装環境における12か月の運用状況から本運用モデルの有効性を示す。

An implementation and managements of autonomous distributed network system for university to improve the availability

KAZUHIRO YATSUSHIRO,[†] YUTAKA KIKUCHI^{††}
and EISUKE HAYASHI ^{†††}

The Internet is widely used in several places, and it has become a social infrastructure. According to those environments, the purpose of the university network has been changed. The major purposes of the university network were research and education in these days. However, the recent university network has become essential for user. It takes important roll for their university life such as registration, communications, and so on. Therefore, users require nonstop service for the network.

First, we propose the new management model for nonstop network system. The system divided distributed autonomous system which depends on management policy. And these network are connected each other with high speed link. Next, we show an implementation of this model by using regional information infrastructure. And we also evaluate the system with 12 month management data. These data show the system is managed efficiently.

1. はじめに

大学に対する社会的な役割が大きく変化してきている。これまで、教育と研究が大学に期待される活動の中心であったのに対し、現在では、ベンチャー企業の育成など、新規産業の創出や社会貢献も期待されるようになっている。また、多様化する社会に適用するために、大学の統合や学部の再編が積極的に行われている。そのため、学内に運用ポリシーやセキュリティポリシーの異なった複数のネットワークが混在する環境も多くなっている。このような環境では、たとえば、ひ

とつのネットワークを停止させることによって、他のネットワークも停止しなくてはならない状況も生じる。

他方で、大学ネットワークは社会基盤として必要不可欠になっている。学生は、履修登録や証明書の発行申請手続きはネットワークを利用して行うようになっている。また、就職活動などもインターネットを利用しないと行えない。

つまり、大学のネットワークは複数の運用ポリシーをネットワークを内在しながら、利用者にとっては停止しない運用が求められていると言える。ネットワークを停止させないためには、通信事業者と同品質のネットワーク運用を行う必要がある。そのためにはシステムや電源設備の二重化を行い、相当な技術を持つ人員を確保し、運用を行う必要がある。また、インターネットへの接続に際しては、セキュリティに関しても万全の対策をとらなくてはならない。しかしながら、大学内の体制だけで、安全で高品質なネットワー

[†] 山梨県立女子短期大学

Yamanashi Women's Junior College

^{††} 高知工科大学情報システム学部

Kochi University of Technology

^{†††} 麗澤大学国際経済学部

The International School of Economics and Business
administration, Reitaku University

クを維持するためには、高度技術を持った人材の確保、システム冗長化に伴う運用費用の増加など多くの問題がある。特に、小規模大学においては利用者が少ないにもかかわらず、品質維持と安全確保の必要があり、この問題は顕著である。そのため、多くの大学では、ネットワークの運用を専門とする業者に委託したり、SE(system engineer)の派遣により運用を行っている。しかし、運用を外委託しても、学内の電気設備点検などにより、システムは停止しなくてはならず、利用者にとっては必ずしも満足できる環境とはいえない。

そこで、本論文では各種のサーバを大学外部に配置する一方で、利用者端末のある大学と高速接続線を用いて接続する分散型運用モデルを提案する。本手法を適用することにより、サーバは通信事業者の品質による運用を行うことができる。サーバと利用者間は高品質なネットワークを用いることにより、学内にサーバを配置する場合と同様な品質で利用することができる。さらに、利用者は学内が停電したとしても、自宅のネットワーク環境やモバイル環境を用いてサーバにアクセスすることができるため、停止しない環境を維持できる。

2. 大学ネットワークの現状と課題

大学に対する社会的な役割が大きく変化してきている。これまで、教育と研究が大学に期待される活動であったのに対し、現在では、ベンチャー企業の育成をはじめとして社会貢献も期待されるようになっている。このため、大学内に学外と連携した研究施設などを新設するケースも多くなっている。また、多様化する社会に適用するために、大学の統合や学部の再編も積極的に行われている。そのため、学内に運用ポリシーやセキュリティポリシーの異なった複数のネットワークが混在する環境も多くなっている。このような環境では、たとえば、ネットワークトポロジによっては、ひとつのネットワークを停止させるによって、他のネットワークも停止しなくてはならない状況も生じる。

さらに、急速なインターネットの発展により、ネットワークは社会基盤として欠かすことのできない存在となっている。学生は、教育や研究ばかりでなく履修登録や証明書の発行申請手続きなどネットワークを利用して行うことが一般的になっている。また、就職活動などもインターネットを利用しないと行えない状況である。また、このようなインターネットの普及に伴って、セキュリティに対しても万全の対策を取る必要が生じている。特に、外部からの攻撃ばかりでなく、踏台とならないように各種のサーバに対して万全な対策

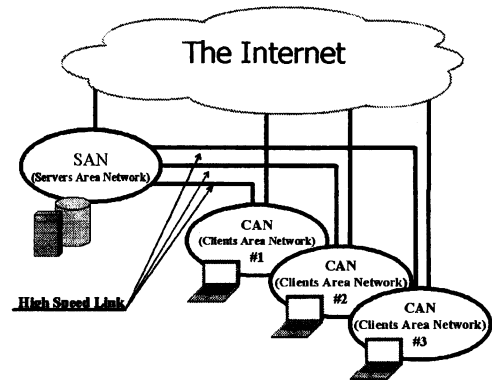


図1 提案するネットワークモデル
Fig.1 Proposed network topology model

が求められている。

このような状況をまとめると、現在の大学ネットワークの運営には

- 複数の運用ポリシーの内在するネットワーク管理に関する問題
- 安全で停止させない運用に関する問題

がある。しかしながら、上記の問題を持つ大学ネットワークの運用を大学のスタッフだけで行うことは困難である。そのため、この問題を解決する手法として、ネットワークの運用を外委託する手法がある。

3. 外部委託の手法

外部委託の方法として大きく2つの方法がある。

- 人材派遣による方法
- 遠隔監視・遠隔操作による方法

一つ目の方法は外部からSE(System Engineer)を派遣してもらい、運用を行ってもらう方法である。情報処理センターなどの現場に常駐して対応を行うため、迅速な対応が期待できる。二つ目の方法は、外部からインターネットや専用線を利用してネットワークの運用を監視し、問題があった場合には、即座に必要な手続きをとるという手法である。

4. 新たな運用モデルの提案

第2章で示した

- 複数の運用ポリシーの内在するネットワーク管理に関する問題
 - 安全で停止させない運用に関する問題
- を解決する手法のひとつとして、新たな運用モデルの提案を行う。

4.1 ネットワークトポロジ

図1にネットワークモデルを示す。この運用モデルで

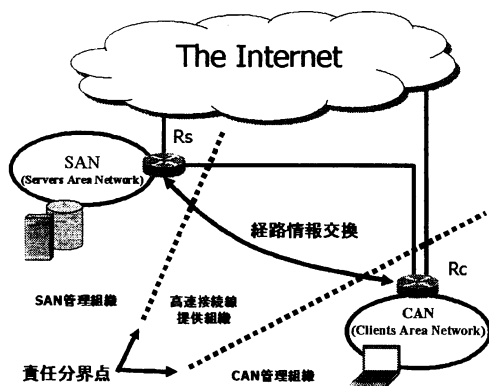


図2 提案する運用モデル
Fig.2 Proposed management model

は、大きく2つのネットワークを構成する。一つはサーバを中心としたネットワーク、これをSAN(Servers Area Network)と呼ぶ。SANは外部委託を行う組織が迅速に対応できる箇所に配置する。

もう一つはクライアントPC(Personal Computer)を接続するためのネットワーク、これをCAN(Clients Area Network)と呼ぶ。CANは運用ポリシーにもとづいて複数存在する。(例えば、教育、研究、事務など)CANもそれぞれインターネットへは自律した接続を行うものとする。つまり、SANとCANはそれぞれ独立した形態で運用をおこなう。

自律分散したSANとCANの間は高速接続線(High Speed Link)を用いて接続する。この接続によりSANとCANの間は高速接続線とインターネットを介した接続の二重構成となり冗長化構成となる。

ネットワークポロジは各CANが独立して、SANに接続する、スター型のネットワークポロジとなっている。そのため、各CANは他のネットワークの運用ポリシーには依存しない運用ができる。

4.2 運用

図2に運用モデルを示す。図2において、ルータRsとルータRcは経路の切替え(高速接続線経由とインターネット経由)を動的に行う必要がある。経路の切り替え技術には、IP(Internet Protocol)の経路制御技術を用いる。経路制御プロトコルは運用ポリシーを考慮できる必要があること、迅速な経路切替えが行えることからBGP4が適当である。

それぞれのネットワークが独立しても稼働するためには、それぞれのネットワークに独立したDNSサーバを配置し、それぞれがセカンダリサーバとして機能できるように運用を行う必要がある。

本システムを運用するには、SANを管理する組織、

高速接続線を提供する組織、CANを管理する組織の3者が協調して運用を行う必要がある。そのためには管理責任を明確にするための責任分界点が必要になる。本モデルにおいては、ルータRsの管理までをSANの管理責任とする。また、ルータRcの管理も同様にCANの責任において運用を行う。そして、それ以外の部分を高速接続線を提供する組織の責任とする。高速接続線を提供する組織としては、一般的に通信事業者やIX(Internet eXchange)事業者が想定される。

4.3 高速接続線に関する技術要件

高速接続線に関しては、システムを構築する上で重要な意味がある。ここでは、高速接続線に関する技術的な課題があることを示し、次にこの課題を解決する方法として考えられる接続技術について議論を行う。

4.3.1 スループット

高速接続線はTCPを用いた通信において、十分なスループットが得られなければならない。これはTCPの通信においては、RTT(Round Trip Time)とTCPウィンドウサイズがスループットに影響を与えるためである。

この問題を回避する方法として、RFC1323ではウィンドウサイズを64Kbyteから1Gbyteまで変化させる拡張機能について提案されている。しかしながら、標準的な設定ではRFC1323のTCP拡張機能をOFFにしている場合が多い。RTTを短くする方法として、2つの手法が知られている。一つはIX(Internet eXchange)技術を用いて高速接続線の物理的な距離を短くする手法である。地域においてIX技術を適用することにより、高品質な通信環境を実現することができる。もう一つは、TCP Overlay技術などを用いる手法である。この方法は経路上に存在するルータに拡張機能を持たせて、TCPの通信を中継するという技術である。利用者端末からは、最寄のルータとTCPの通信を行っているように見せることができるので、見掛け上のRTTが短くなる。しかしながら、スケラビリティに関する問題などが指摘されている。

4.3.2 接続手法

高速接続線として、利用できる技術として3つの手法が考えられる。

- プライベートライン(private line)
- シェアードライン(shared line)
- パブリックライン(public line)

private lineは一般的には通信事業者の提供する専用線である。現在では、地域情報基盤として民間開放されている回線を利用する方法や自らの組織で無線や光ファイバなどを自設して接続するという方法も考え

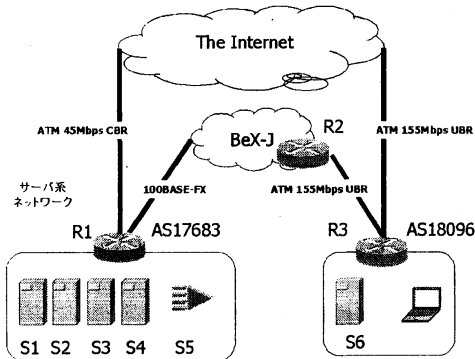


図 3 山梨県立女子短期大学における実装
Fig. 3 An implement for Yamanashi Women's Junior College

られる。shared line は通信事業者のサービスとして行われている技術である。これまでの専用線と比較して安価に構築を行うことができる。public line は、インターネットのように他組織のトラフィックも共有する接続である。インターネットを利用し、プライベートを維持して接続を行う手法には、VPN や IPSec などの技術がある。

5. 実 装

前章までの議論にもとづき、山梨県立女子短期大学のインターネット接続システムの実装を行った。山梨県立女子短期大学の利用者は学生約 500 名、教職員約 60 名である。学生用の利用者端末は演習室に 47 台、図書館に 20 台、学生ホールに 5 台が設置されている。この他に研究室、事務室に約 40 台の端末がある。図 3 に実装の様子を示す。

ネットワークの運用ポリシーとして、停止しない運用を行うサーバ系ネットワークとできるだけ停止しない運用を行う教育・研究・事務用のアクセス系ネットワークの 2 つが存在する。

SAN は地域 ISP 内のデータセンターに配置している。ISP では、サーバに対して、無停電電源装置により 24 時間 365 日運用できる体制を整えている。また、セキュリティに関する保守も行っている。サーバは本学のネットワークサービスのために 5 台が運用されているが、1 台 (S1) だけが本学のためだけに運用されており、他の 4 台 (S2 から S5) は ISP の顧客と共有している。S1 では、HTTP, SMTP, POP, RADIUS の運用を行っている。S2 は DNS のセカンダリサーバ、S3 は webmail, S4 は NEWS, S5 はダイヤルアップ接続サービスのための機器である。ダイヤルアップ接続サービスは本学の学生であれば無償で接続を行うこ

とができる。ダイヤルアップ接続サービスがあることにより、CAN が停電などにより、停止したとしても、利用者はインターネットへの接続を、ダイヤルアップサービスを利用することにより実現できる。

クライアント系ネットワークはいわゆる学内ネットワークである。ここには DNS のプライマリサーバが配置してあり、インターネットへの接続もサーバ系ネットワークとは独立して行うことができる。

高速接続線には地域 IX (BeX-J) を経由した接続を用いた。地域 IX までの接続は、サーバ系ネットワークのデフォルトルータ (R1) からは 100Mbps の Ethernet を、クライアント系ネットワークはデフォルトルータ (R3) からは 155Mbps の ATM UBR (Unspecified Bit Rate) で接続を行っている。また、インターネットへの接続も R1 からは 50Mbps の ATM CBR, R3 からは 155Mbps の UBR での接続を行っている。

経路制御プロトコルには BGP4 を用いている。R1 と R2 の間で異なる AS (Autonomous System) 間での接続を行い、R2 と R3 の間では同一 AS 内での BGP 接続を行っている。インターネットへの接続においては両ネットワークともデフォルト経路を静的に指定している。この経路制御技術により、平常時には BeX-J を経由した経路で通信が行われ、問題が発生した場合には BGP4 のプロトコルに従い、直ちにインターネット経由での接続に切り替わる。

6. 評 価

2003 年 1 月 9 日から 2004 年 1 月 9 日までの、12 カ月の計測データから、システムの稼働状況、高速接続線の回線品質について評価を行う。

6.1 システムの稼働状況に関する評価

図 3 のネットワークにおいて、計測用のホストを大学の外部接続セグメントに配置する。ここから、本学のデフォルトルータにおけるインターネットへの接続インターフェイスと、SAN におけるホストのインターフェイスに対して、トラフィック流量の計測を行った。計測システムには MRTG を使い、それぞれの機器から 5 分毎のデータを収集した。MRTG では、時間が経過すると、採取したデータを集約したり破棄することにより、計測結果を保存するファイルの大きさを一定に保っている。そのため、2003 年 4 月 10 日からは本学におけるデータに関しては、每晚計測結果を別途保存するようにし、詳細な結果を記録するようにした。

SAN に配置されたホスト S1 のインターフェイスを流れるトラフィック流量を計測することにより、SAN における本学のサーバの稼働状況を調べることができ

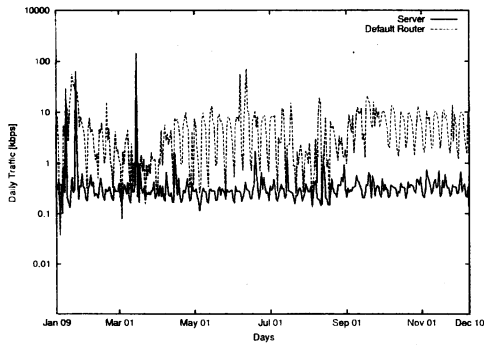


図 4 トラフィック (2003 年 1 月 9 日-12 月 9 日)
Fig. 4 Traffic (Jan 9-Dec 9, 2003)

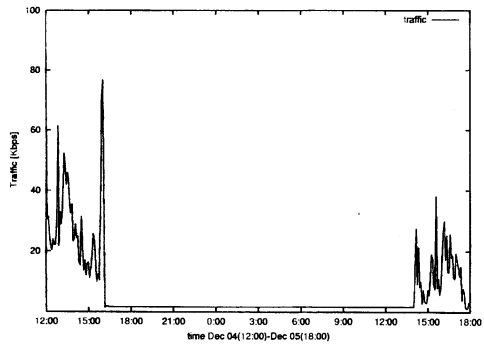


図 5 障害発生時のトラフィック状況 (2003 年 12 月 4 日-5 日)
Fig. 5 Traffic during the trouble (Dec 4-5, 2003)

る。また、R3 は CAN のデフォルトルータであることから、このルータのインターフェイスを計測することにより CAN の稼働状況を調べることができる。

5 分毎に収集したトラフィック流量に関するデータを 24 時間あたりの平均として集約した計測結果を図 4 に示す。この計測結果を精査すると、S1 においては運用が停止する期間はなかった。一方で、R3 においては停止している時間帯があった。その結果を表 1 に示す。図 5 には最も長い時間停止した 12 月 4 日 16:20 から 12 月 5 日 13:55 までの様子を示す。

2003 年 8 月 2 日の停止は、学内の電源設備の定期点検である。2003 年 12 月 4 日から 5 日の停止は電源事故および仮復旧までの緊急停止である。2003 年 12

表 1 2003 年の停止期間
Table 1 out of service minute

停止開始時間	停止終了時間	停止時間 (分)
8 月 2 日 9:00	8 月 2 日 15:00	360
12 月 4 日 16:20	12 月 5 日 13:55	1295
12 月 13 日 7:45	12 月 13 日 16:40	535
12 月 17 日 3:00	12 月 17 日 3:25	25

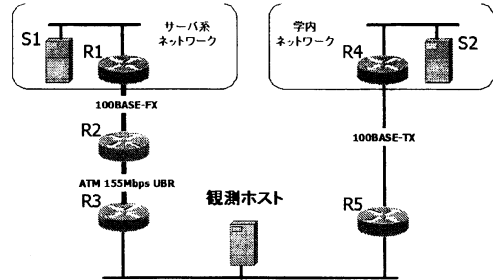


図 6 高速接続線に関する品質計測システム
Fig. 6 A measurement system for quality of high speed link

月 13 日の停止は、電源事故の修復工事のための停止である。2003 年 12 月 17 日の停止は、通信事業者の光ファイバ工事のために停止した期間である。

本論文では測定期間を P 停止時間を O として稼働率 A を以下のように定義する。

$$A = \frac{(P - O)}{P} \quad (1)$$

測定期間は 525600 分、CAN の停止時間は 2215 分である。この結果、SAN の稼働率は 100%、CAN の稼働率は 99.69% となる。

6.2 高速接続線の品質に関する評価

高速接続線の品質として、RTT、経路の安定性、RTT のばらつきについて評価を行う。

図 6 に計測システムを示す。まず、CAN に計測ホストを配置する。次に計測対象として、SAN(外部ネットワーク) 上に S1 を、CAN 内(学内ネットワーク) 上にホスト S2 を配置する。また、各ルータの仕様を表 2 に示す。

RTT の測定は、定期的な間隔で複数回測定し、その中の最良値を選択することによって、ほぼ実効値が得られることが知られている。そこで、本研究においても同様な手法を用いて計測を行った。計測には、smokeping を用いて、5 分毎に CAN にある測定用ホストから S1 に対して、ping コマンドを利用して 20 回の測定を行い、その最良値から RTT の測定を行った。somekeping においても MRTG と同様に、測定

表 2 Router の仕様
Table 2 Specification of routers

Router	仕様
R1	CISCO 7206 NPE300
R2	CISCO 7505 RSP 1 (100MHz)
R3	CISCO 7206 NPE200
R4	3Com CoreBuilder 3500
R5	CISCO 3620 R4700 (80MHz)

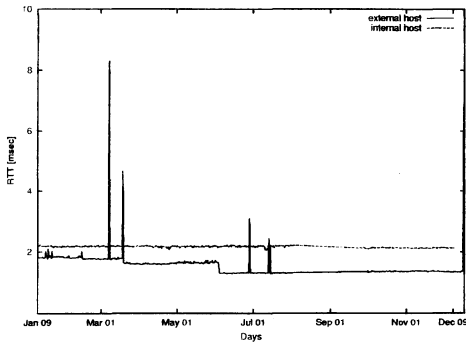


図7 RTTの計測結果
Fig.7 Mesearment of RTT

データの集約を行うため、2003年4月14日からは毎日の記録を別途保存するようにした。

計測期間は2003年1月9日から2004年1月9日までの12ヵ月行った。この測定結果を一日あたりの平均とした様子を図7に示す。ただし、操作ミスにより、8月2日から9月24までのデータは採取ができなかったため、この間は図7において、直線で表示されている。また、各種の計算にも含めていない。

計測結果から、学内にある観測ホストS2へのRTTの平均は2.16msである。一方、S1へのRTTの平均は全測定期間では1.55msであるが、6月3日以降の平均は1.37msである。6月3日には、ISPがBeX-Jへの接続に用いるメディアコンバータ装置(100BASE-FXから100BASE-TXに変換)の数を減らしている。そのために、メディアコンバータによる遅延が減少している。S1への計測結果とS2への計測結果を比較すると、学外にあるS1へのRTTの方が短い。経路上のルータの仕様が違うため、一概には比較できないが、学内LANに配置した場合とほぼ同様な値を得ることができている。

次に、経路の安定性について検討を行う。図7において5回にわたりRTTの値が大きく異なっている期間がある。これは正常時に高速接続線を経由している通信が遮断され、インターネットを経由する経路に変更された時を表している。表3に経路が変更された期間を示す。

高速接続回線の稼働率も(2)式と同様に定義すると、高速接続回線の停止時間は1155分であることから、99.76%となる。また、通信経路の安定性を中川らと同様に「経路が変化するまでの平均時間」と定義し、安定性(A)を測定期間(P)と経路変化の回数(N)を用いて、

$$A = P/N \quad (2)$$

と表現する。測定結果を本式に適用すると、安定性は96192分(約67日)となる。保守作業による停止のため、経路変更はやむを得ない状況であるが、経路が変化しても、5分間隔のサンプリングで停止することなくすみやかに経路が変化していることが示されている。

次に、RTTのばらつきを調べるために、測定期間の標準偏差を求める。計算結果を表4に示す。ただし、保守作業によって、経路がインターネット経由になった際のデータは、高速接続線の評価には不適当と考え、計算には含めていない。RTTのばらつきが大きいと、音声などのリアルタイム通信に影響を与える。学内に配置した場合と比較すると、オーダが違うが、実際に際しては十分問題のない数値である。

7. おわりに

本論文では、まず、大学ネットワークの運用における課題について示した。次にこの課題を解決する手法として、システム全体を自律分散したSANとCANに分割し、両ネットワークを高速接続線を用いて接続するモデルの提案を行った。そして、このモデルにおいて、高速接続線が重要な意味を持つことを明確にし、技術的に必要な条件についても明らかにした。次に、このモデルに従って実装を行い、12ヵ月の運用データからシステムの評価を行った。その結果、稼働率に対しては0.31%の改善を行うことができ、また、RTTに対しても実用上は学内LANと同様な数値で運用が行えることが示された。これにより、本システムの有効性を示した。

今後の課題として、

- より安全な環境を実現するための手法
 - QoSを考慮した接続手法
- などについて検討を行う必要がある。

表3 経路が変更された期間
Table 3 the period which alternate path was used

変更開始時間	変更終了時間	変更時間(分)
3月7日 16:00	3月7日 19:00	180
3月18日 12:00	3月18日 14:00	120
6月28日 1:05	6月28日 3:05	120
7月14日 12:15	7月14日 13:15	120
12月17日 2:05	12月17日 12:20	615

表4 RTTの標準偏差
Table 4 Standard dispersion of the RTT

ホスト	標準偏差	標準偏差(6月3日以降)
S1	2.05×10^{-7}	4.53×10^{-4}
S2	1.09×10^{-9}	3.30×10^{-5}