

耐障害性に優れるRAID-6構成でも起こり得る不測の事態

石井, 大輔
九州大学応用力学研究所

<https://doi.org/10.15017/7183618>

出版情報 : 九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告. 6, pp.49-55, 2024-07. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :



耐障害性に優れる RAID-6 構成でも起こり得る不測の事態

石井 大輔

要 旨

耐障害性に優れ運用実績も多い RAID-6 で構成した研究室所管のデータストレージにおいて、HDD の連続縮退に起因した原因不明の障害が発生し、保管データの大部分を喪失する重大事案が起きた。これを単なる偶発事案で終わらせぬよう、様々な調査や検証実験を行った上でサービスの運用再開を図った。機器の保守管理をする上で絶対はないことを前提とした環境整備や運用形態の見直しに、今後はより一層努めていく必要があることを改めて痛感した。

キーワード

RAID-6 耐障害性 ディスク縮退 データ喪失 二次保管（バックアップ）

1. はじめに

計算資源の高性能化や AI 技術の飛躍的な向上などに端を発し、日々取り扱うデジタルデータは、質の高度化（高品質化・高機密化）はもとより、量も大規模化（大容量化）の傾向にある。このことは、学術研究で取り扱う研究データにおいても例外ではなく、学術論文の根拠となる研究データの保存と公開の義務化によって、研究室や研究所単位・大学規模で保管すべきデータ量が今後急増することが予見される。そのため、年々増大していくデータの大規模化に十分対応し得る大容量データストレージの環境整備に加え、運用管理に必要な知識と技術力が非常に重要となってくる。

研究所内における或る研究室（以下、A 研とする）では、大容量で数多くの研究データ等を大規模ストレージ（RAID-6 構成）で長期保管しながら、利用・運用を続けている。筆者は当該研究室における計算用サーバ・ストレージ等の運用管理業務を長年拝命し、様々な技術経験ができる貴重な機会を頂いている。そのような中、管理している或る RAID ストレージにおいて、ハードディスク（HDD）の連続縮退に起因した原因不明のストレージ障害が発生した。復旧対応に尽力したものの、残念ながら、結果として保管データの大部分を喪失する重大事案となってしまった。

自身の技術力不足を棚に上げるつもりは毛頭ないが、自戒の念とともに、耐障害性に優れた（冗

長性がある）RAID-6 ボリュームを「極めて安心」だと思って運用されている方々への注意喚起の意を込めて、本事案を紹介する。なお、RAID-6 に関しては次章で触れる。

2. ストレージ・RAID について

2-1. ストレージの種類・特長

詳細は別紙などに譲るが、ストレージには様々な種類や用途・容量のものがあり、PC に USB 接続で直結するポータブルタイプや据え置きタイプのものから、LAN ケーブルを通じて別場所の遠隔地からネットワーク越しに接続するもの（NAS^[1]）など多岐にわたる。A 研では計算用サーバとして macOS を搭載した高性能機（MacPro 等）が複数台あり、外部ポートに Thunderbolt3 を搭載した RAID ストレージを、データ保管用としてマシンごとに直結した構成^[2]を主に取っている。

余談だが、USB 3.2/3.1 Gen2（USB-C）や 10G Base-T（Ethernet）接続時の転送速度は最大 10Gbps であるが、Thunderbolt3 接続時のそれは最大 40Gbps と遥かに高速である。実際の研究室運用では、サーバ側のポート仕様の制約により変換アダプタを介した Thunderbolt2 接続になってしまうサーバ・ストレージ構成も一部あるのだが、それでも最大転送速度は 20Gbps であり、USB3.2 や 10GBase-T 接続時に比べて理論上 2 倍の通信性能を有する機器接続構成となっている。

2-2. RAID の種類・特長

データ保管用のストレージを構成するにあたり、RAID (Redundant Arrays of Inexpensive Disks) は今や欠かせない技術である。RAID とは、複数の HDD を束ねて論理的に 1 つのディスク (ボリューム・アレイ) として取り扱えるだけでなく、ボリューム内における複数の HDD にデータを分散して格納し、性能と耐障害性 (冗長性)・可用性を同時に確保する技術のことである。

既報³⁾に各 RAID レベルに応じた当時の代表的な構成例や特長を挙げたが、その後も方式などが進化を続けてきた。表 1 に、改めて主要な RAID レベルとその概要・特長などについて示しておく。

2-3. RAID-6 への安心感

RAID ストレージを構築するにあたり、A 研では方式に RAID-6 を採用してきた。その理由は、HDD の同時故障可能数と所望する実質的な総容量 (実効容量) との兼ね合いからである。なお、RAID レベルによっては I/O 処理速度も変わってくるが、この時点では他の項目に比べて重視すべき優先度としては低かった。安全面だけを考慮すると、同時故障可能数が多い RAID-60 を最初から選択の方がよいのだろうが、当然ながら実効容量は目減りする。実際の利便性などを考えると、実効容量はあるに越したことが無いため、なかなか最初から RAID-60 は選択しにくい。このような事情と、同時に HDD が 3 本以上故障することはないだろう (2 本故障までの間に HDD の交換・復旧対応ができる) という「RAID-6 への安心感」が、最終的に RAID-6 の選択を後押ししてきた。

長年における筆者の実務経験の中で、RAID-5 以上 (RAID-60 は未経験) のレベルにおけるスト

レージ構成で 1 本 HDD が突然死 (縮退) した際、同時に連続して縮退したことはなかった。その間、HDD の交換・RAID 再構築 (リビルド) を実行して復旧作業を行うが、当然その途中で二の矢 (2 本目の HDD 縮退) が飛んでこないとも限らなかった。今までそうならなかったことは単なる偶然であり、運が良かっただけである (と今回改めて気付かされた)。

一式で販売されるストレージ筐体への搭載 HDD は、基本的に同一メーカー・同一ブランド・同一シリーズ品で且つ、同一ロット (製造時期が同じ) のものになっている。自作品であれば、リスクヘッジのために上記条件を満たす HDD を意識して準備し換装する人も多いだろう。HDD は、たとえ標記容量の数字が同一であっても、提供元ベンダーによって微妙に仕様 (セクタサイズ・キャッシュ容量・プラッタ枚数など) が異なるので、RAID 内での混載利用は極力控えた方がよいとされている (後継品が出ず、廃盤・終息になったら大変なので、予備 HDD を多めにストックしておくことも大事な保守管理技術の一つ)。

以上までの諸事情に鑑みると、1 本の HDD が縮退した時点で、同時稼働してきた同年齢の他の HDD も、いつ他界しても不思議はないのである。特に、RAID のリビルド実行時は各 HDD に平時以上の高負荷が長時間かかることから、連続して HDD 縮退が発生することも少なくないという定説を時折耳にしてきた。ただ、今までそのような経験が無かったことに加え、やはり確率的にも RAID-6 への安心感があることから、一般的にも RAID-6 の選択が間違いと判断されることは決してなく、どちらかと言えば、今現在も積極的に選択されている RAID レベルであると思われる。

表 1 主に利用される RAID の種類とレベルに応じた特長

	最低必要 HDD 本数	HDD 容量利用率 (実効容量/物理容量)	HDD 同時故障可能数 (耐障害性・冗長度)	HDD 12TB *8 構成 での実効容量 [TB]
RAID-0	2	1	0	96
RAID-1	2	1 / 2	1	48
RAID-5	3	(n-1) / n	1	84
RAID-6	4	(n-2) / n	2	72
RAID-10 (1+0)	4	1 / 2	2 (1+1)	48
RAID-50 (5+0)	6	(n-2) / n	2 (1+1)	72
RAID-60 (6+0)	8	(n-4) / n	4 (2+2)	48

n : HDD 搭載本数

3. HDD 縮退・RAID リビルドにおいて

3-1. HDD 縮退・自動リビルド開始

前章のことに留意した A 研での運用ストレージ (RAID-6) の 1 つで、HDD の縮退が 1 本発生した。このようなイベント発生時は、管理者宛てにメール通知される仕組みにしていたので気づくことはできたのだが、その日はあいにく週末で翌週にならなければ復旧作業に着手できなかった。ただ、HDD 縮退直後には、事前設定していた RAID の自動リビルド処理が実行されていた。実際の動作としては、縮退した HDD が RAID から切り離され、常時待機のホットスペアディスク (HS) が RAID リビルド処理に組み込まれた。当該ストレージの実効容量は約 230TiB あり、RAID-6 のリビルド完了には 1 日以上時間を要することは経験的に把握していたので、無事に完了するのを待つしかなかった。

すると、その途中で 2 本目の HDD 縮退が発生してしまった。既述のように、リビルド実行による各 HDD への高負荷処理が誘発したものと推測される。これまた週末の夜間だったため、通報メールに気付いたのは翌日だった。RAID-6 構成なので HDD が 2 本縮退してもサービス停止することなく自動リビルドが続行されると思い、HS が 1 本も無い状態で少々落ち着かない面はあったものの、リビルドが完了するのを静観した。

ところが、2 本目の HDD が縮退した直後、何か RAID のリビルドが自動で中断されていることに気付いた。次節に記すが、本来の機器動作であれば、2 本目の HDD が縮退しても RAID のリビルドは続行されるということだった (後日届いた開発メーカーからの正式回答より)。ただ、この時点の筆者は 2 本目の HDD が縮退した際、3 本以上の HDD 縮退による RAID-6 のボリューム崩壊を未然に防ぐため当該ストレージはこういう挙動をするのかと、逆にそれが正しい挙動であると認識していた。

平日の出勤した際に、縮退した HDD を抜いて新たな HDD を 1 本挿入した時点で RAID のリビルドが自動で実行され始めた (再開された)。このことから、RAID は崩壊していないと思い安堵しつつ、新品 HDD をもう 1 本挿入し、急いでそれを HS に設定した。その後、約 30 時間後にリビルドの正常終了を示した完了通知メールが届いた。現場でストレージの状態を様々な点から確認

したところ、問題なく復旧されたと判断できたので、ここでようやく肩の荷が下りた (はずだった)。

3-2. リビルド完了の判断事由・不測の事態

前節で「問題なく復旧された」と判断した事由には、以下を挙げる。

- RAID のリビルド完了 (正常終了) メールが届いたこと
- 当該ストレージ管理画面上において
 - RAID ステータスが正常になっていたこと
 - イベントログでも「Complete Rebuild」となっていたこと
- macOS サーバ機において
 - RAID ボリュームを正常にマウントできていたこと
 - df コマンド実行結果を見て、HDD 障害前の状態であったこと

```
/dev/X 229T 122T 107T 54% /x/yy
```

ところが後日、研究室の利用者から RAID ストレージ内のファイルが読み込めないとの連絡を受け、至急調査を行った。サーバにログインし、ls コマンドを実行してみたところ、確かに一部のファイルで以下の症状が確認された。

```
ls: hogehoge: Input/output error
```

先述の通り、df コマンド実行でも、容量は問題なく実際に使用されている状態である上、RAID ボリューム配下のディレクトリは ls コマンド実行で問題なくディレクトリ名が表示されていたので、この時は上記のエラーが発生する理由に見当が付かなかった。

そのため、ストレージ販売代理店や開発メーカー (海外) に本件に係る一連の事象報告と技術照会を掛けた。開発メーカー側からの状況確認や調査依頼などに何度も応じ、本事象の原因と解消策の連絡を心待ちにしていたが、最終的には「開発側も予期せぬ原因不明の動作で理由不詳」との結論を突き付けられ、釈然としないまま、以下の回答をもって打ち切りとなってしまった。

- ファームウェアの適用バージョンは最新で問題なし

- ストレージの H/W 的な問題（物理故障など）の所見なし
- 本来のストレージ動作であれば、RAID リビルド実行中に新たな HDD 縮退が生じて中止されることなく続行されるのだが、今回自動で中止された理由は不明

3-3. 考え得る不具合の要因調査

ただ、こちらとしては、研究室から管理を委託されている大事な研究データであることに加え、今後のこともあるため、開発メーカーからの最終回答に「はいそうですか、分かりました」というわけにはいかなかった（技術職員として納得いかないものもある）。そこで、可能な限りで様々な情報を収集し、考え得る不具合の要因について、自分なりに探ってみることにした。

開発メーカー側は原因不明で分からないとの見解であったが、前節で示した症状（一部は正常に読み取れたり、部分的に動作不良だったりするデータ不整合）から、以下の二点を疑ってみた。

- RAID ストレージ筐体（筐体 1）の H/W・S/W に係る故障 or 不具合
- RAID のリビルド時に起こったかもしれない RAID-6 特有であるダブルパリティ情報の形成不調 or 崩壊

筐体 1 の H/W・S/W に係る故障 or 不具合

これを確認するため、予備の RAID ストレージ筐体（筐体 2）を使って検証実験を行ってみた。やったことは、筐体 1 に換装中の全 HDD を、換装位置を変えずに筐体 2 に挿し直した上での動作確認である。結果、筐体 2 を使っても前節における同一症状が確認されたため、この線は消えた。

RAID-6 ダブルパリティ情報の形成不調 or 崩壊

これを確認する手段が正直なかなか難しいというか、筆者も含めたこの手の素人には恐らく出来ないのではないかと思われたが、アレコレ調べていく中で、更新日が 10 年以上前の或る情報サイト^[4]を見つけた。

当該サイトの情報を鵜呑みにすると、今回トラブルが発生したストレージ筐体が構成するパリティ構造は非常に特殊であり、RAID-6 特有のダブルパリティ（P, Q：誤り訂正情報であるパリティ

の二重化）の構造が、一般的な RAID-6 で構成されるものと比べて仕様が全く異なるという内容だった（図 1）。今まで、パリティを含む RAID の論理的なブロック構造の詳細など気にしたこと無かったが、一般的な利用者でそんなことまで気にする人はまず居ないのではなかろうか。

(a)

disk1	disk2	disk3	disk4	disk5	disk6	disk7	disk8	disk9	disk10	disk11
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	P
10	11	12	13	14	15	16	17	18	P	Q
20	21	22	23	24	25	26	27	P	Q	19
30	31	32	33	34	35	36	P	Q	28	29
40	41	42	43	44	45	P	Q	37	38	39
50	51	52	53	54	P	Q	46	47	48	49
60	61	62	63	P	Q	55	56	57	58	59
70	71	72	P	Q	64	65	66	67	68	69
80	81	P	Q	73	74	75	76	77	78	79
90	P	Q	82	83	84	85	86	87	88	89
P	Q	91	92	93	94	95	96	97	98	99

(b)

disk1	disk2	disk3	disk4	disk5	disk6	disk7	disk8	disk9	disk10	disk11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	P	Q
12	13	14	15	16	17	18	P	Q	10	11
23	24	25	26	27	P	Q	19	20	21	22
34	35	36	P	Q	28	29	30	31	32	33
45	P	Q	37	38	39	40	41	42	43	44
56	46	47	48	49	50	51	52	53	54	P
67	57	58	59	60	61	62	63	P	Q	55
78	68	69	70	71	72	P	Q	64	65	66
89	79	80	81	P	Q	73	74	75	76	77
90	P	Q	82	83	84	85	86	87	88	89
P	Q	91	92	93	94	95	96	97	98	99

図 1 RAID-6 の内部構造を表現した図^[4]

(a) 一般的な事例 (b) 今回の特殊事例

この情報の信憑性を確認するため、改めて本ストレージ筐体のユーザマニュアル^[5]（全編英語）を見直してみた。すると、確かにサイト掲載のパリティ構造の図（図 1 (b)）が描かれていた。しかし、だから何だという話である。今回のものが一般的なブロック構造（図 1 (a)）と異なるかもしれないが、それが今回の事象発生と何か関係しているのかという点は正直よく分からない。ただ、やはり気になるのは、前節で述べた以下の点である。

- 2 本目の HDD が縮退した直後、何故か RAID のリビルドが自動で中断されていた

本来の機器動作なら 2 本目の HDD が縮退しても RAID のリビルドは続行されるのに

このことが何かしら関係しているのではないかと予想はできるものの、それを確認・検証する術が見つからない。同事象を実験的に再現することもほぼ不可能に近いかもしれない。そのため、これ以上の究明は非常に困難であると判断し、要因調査はここで終結とした。

3-4. データ復旧方法の調査・データ救出

最後に、保管データを何とか救出・復旧できないか（一部であっても）、一縷の望みをかけて、諸々検討・調査を行った。考えられる手段として、データ復旧ソフトの利用と、専門業者によるデータ復旧委託の案が思い浮かんだ。

前者は、費用が比較的安価に済む反面、小規模なデータ群に対して適用できる可能性が高い手法であるため、作業時間や成功率も含め、今回のような大規模な対象には向かないと判断した。

一方、後者は当然ある程度の費用がかかり、初期調査費用はもとより、本格的な作業費用も復旧対象の総容量によって高額になることが一般的である。RAID ボリュームの復旧は、RAID レベルやボリューム暗号化の有無等に応じて復旧までの難易度が変動する場合が多く、元々難易度が高い作業であることから、障害の重度に比例した高額の費用負担が懸念される。

また、仮に費用の問題をクリアしたとしても、専門業者の選定自体を見誤ると、費用だけ取られて全く復旧できなかった（無闇にディスク内部を傷つけられただけ）ということも、色々調べた限りではしばしば起こり得る業界のようなので、もし委託する場合であっても事前の情報収集の徹底と精査・最終判断に細心の注意が必要である。

色々な情報を集めて調査検討を進めた末、RAID 復旧技術として非常に高度な技術力を有し、復旧確率が相当高い専門業者に辿り着くことができた。早速こちらの状況説明とともに相談を持ち掛けたところ、やはり初期調査費で数十万、初期調査の結果（重度）次第で本番作業費は3桁になる可能性があるとの返答を受けた（社名は控えるが、凄く親身になって様々な質問や疑問・相談に応じていただいた）。

最終的に一連の調査結果を研究室側に報告したところ、RAID ストレージ内のデータ復旧は断念し、改めて RAID ボリュームを再構築して運用を再開したいとの申し出があった。苦渋の決断をさせてしまったことは痛恨の極みであり、理由はどうであれ、厳粛に受け止めざるを得なかった。なお、この時点において、まだ一部でも読み込めるファイル・ディレクトリ群が存在していたため、RAID の再構築をする前に、現 RAID ボリューム内から可能な限り保管データを救出することに尽力した。

4. RAID 再構築に向けて

4-1. 複数の HDD を強制縮退させた動作検証

前章で記したように、本来の機器動作であれば、RAID-6 であるので HDD が2本縮退しても RAID のリビルドは続行されるはずであったが、不幸にも今回そうはならなかった。「予期せぬ原因不明の動作」として、今後同様の事案がまた起こらないとも限らないため、でき得限りの事前検証・動作確認をしておく必要がある。

そこで、基準となるコントロール環境（初期状態）として下記条件のストレージ・RAID 環境を準備した上で、改めて以下の動作検証を実施した。

- ストレージ物理環境：HDD 12TB×24 本実装
- RAID レベル：RAID-6 (23+HS1)

HDD 2 本までの縮退を模した動作検証

まず、1 本の HDD が縮退した状況を模した状態を作った。その結果、HS を組み込んだリビルドが自動実行され始めた。続けて、2 本目の HDD が連続縮退した状況にしてみた。すると、3-1. で述べた RAID リビルドの自動中断は起こることなく、リビルドは続行された。そのままリビルドが完了するまで待機し、RAID-6 ボリュームが特段の問題なく全面復旧することを確認した。

HDD 3 本までの縮退を模した動作検証

本動作検証を行う前にコントロール環境へ一旦戻した上で、2 本目の HDD 縮退までの状態を再現した。上述の通り、この時点ではリビルド実行中であるが、この状況下で新たに3本目の HDD 縮退を模した状況を作り出してみた。すると、リビルドが中止され「Volume Failed」のアラートが管理画面に表示され、事実上 RAID ボリュームが崩壊したことを確認した。RAID-6 の仕様（表 1）としては当然の動作（結果）である。

上記の動作検証を複数回やったわけではないものの、「本来の機器動作であれば、2 本目の HDD が縮退しても RAID のリビルドは続行される」という開発メーカー側の回答内容が確認されたため、今回は「予期せぬ原因不明の動作で理由不詳」の事案が偶発的に起こってしまったと解釈しても過言ではないのかもしれない。

4-2. RAID レベル決定のための動作検証

前節で確認したストレージの動作が担保されることを前提とした上で、運用再開に向けてデータ保管用の RAID ボリュームを新規に構築し直す。そこでまず、盲目的に従前までの RAID-6 にするか、はたまた別の RAID レベルを採用するか、少し時間を掛けてでも事前に検証した上で、最終的な RAID レベルを決定することにした。

RAID レベルを決定する上で重視したい点は、2-3.で述べた HDD の同時故障可能数と実効容量であるが、今回最重視したい点は HDD 縮退直後に自動実行される RAID の「リビルド完了までにかかる時間」である。前回は、リビルド途中に 2 発目の HDD 縮退が発生し何かしら起こってしまったため、出来る限り短いリードタイムで復旧できる RAID 構成を実現すべきであると考えた。

以下に示す本番の構成条件を再現した物理環境を準備した上で、2 つの検証実験を行った。ちなみに、RAID レベルの選択候補は、利用実績が多く安心感抜群と名高い RAID-6 (2-3.参照) と、容量面では劣るものの高速性と安心感の面では RAID-6 の更に上をいく RAID-60 である(表 1)。

ストレージ物理環境：HDD 12TB×24 本実装

① RAID 構築にかかる時間と実効容量の確認

- 1) RAID-6 : 19 h 22 m
23+HS1 構成 252 TiB
- 2) RAID-60 : 19 h 23 m
11+HS1,11+HS1 構成 216 TiB # 1) *85%

② HDD 1 本縮退を模したリビルド実験

- 1) RAID-6 : 32 h 20 m
- 2) RAID-60 : 24 h 15 m # 1) *75%

実験の結果、RAID レベルの違いによる RAID 構築時間に差異は無かった (①)。反面、HDD 縮退時の RAID のリビルドにかかる実行時間は、両者に大きな差異が生じることが判明した (②)。定性的には、RAID-60 構成の方が RAID-6 構成よりも I/O 処理性能が高いことが知られているが、①で変化が見られなかったことは意外であった。その一方、②において RAID-60 構成の方が RAID-6 構成より 25% もリビルド時間が早く終わったことは、本検証実験をしていないと定量的に認識す

ることができなかった有意な差 (8 時間) である。

ストレージ開発元は、こういう情報を開示することは殆どない。それは実行環境の違いや搭載する HDD の容量・本数によって、複数パターンの検証や表記・注意書きなどが必要になるからだと推測する。だからといって、利用者が運用前にここまで事前調査した上で RAID レベルを決定することも、これまた稀有ではないかと思う。大抵は、今までの利用実績や評判などに加えて、HDD 同時故障可能数 (冗長性・耐障害性) と、所望する実効容量の兼ね合いで決断することが専らだろう。だが今回は事が事だっただけに、実効容量を多少犠牲にしても (約 15% 減は大きいのだが)、リビルド実行時間の高速性 (8 時間短縮) を最重視して、今回は最終的に RAID-60 で新規構築することに決めた。

この RAID-60 での構築・運用再開は、少し実験的な要素も含んでいる。A 研では、現在も当該 RAID ストレージ筐体を複数台運用している最中であり、不吉なことを言うてはいけませんが、同様の事案がまた起こらないとは絶対に言えないのである。だからこそ、直接的な再発防止策にはなり得ないかもしれないが、色々なことを試しながら知見や運用実績を積むことで、不測の事態の発生確率をできるだけ極小に近づけていき、今後における当該 RAID ストレージの運用・保守管理に生かしていきたい思いである。

5. おわりに

本稿を読み終えた読者の中には、二次保管 (バックアップ) 先の準備をして随時バックアップを取得していれば、こんなことにはならなかったのではと感じる人も少なからず居ると思う。自身でもそう思うところであるが、実際にその環境を実現し運用していくことは、そう簡単なことではない。費用負担は 2 倍もしくはそれ以上になるばかりか、定期的なデータの同期実行だけでも大容量のストレージであるために、どれだけの負荷が長時間かかるだろう。それにより、実際の計算処理や I/O 処理に影響が出て逆に時間や負荷が掛かってしまい、ユーザの利便性や実効性を損ねてしまうような全体システムにしてしまつては、本末転倒である。

最近では、Snapshot 機能を有したディスクストレージ⁶⁾がいくつか存在し、バックアップ実行

に対してそれほど時間や負荷が掛からない環境を整備できること、必要な保管容量も元データの数割でよいことは承知している。ただ、現有資産を全て入れ替えるだけでも莫大な費用と諸作業が生じてくるのが容易に想像できるため、軽々にはシフトチェンジできないのも現実である。

とはいえ、保管データの重要度に応じたバックアップ体制の構築と運用の早期実施が必要であることに変わりはない。今後も安心して研究室のサーバやストレージの運用管理を任せていただけるよう、より一層技術の研鑽に励みたい。

参考文献

- [1] 石井大輔：利用形態に応じたネットワークストレージ環境の構築事例，九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告, 4, 48-51, 2022.
- [2] 石井大輔：macOS 関連業務を通じた技術的課題への取り組み，九州大学応用力学研究所技術室 技術室報告, 2, 49-54, 2020.
- [3] 石井大輔：RAID 対応自作 NAS サーバの構築，九州大学応用力学研究所技術室 技術レポート, 8, 13-22, 2007.
- [4] 100%安全ではない、耐障害性に優れる RAID 6 のデータが復旧するまで，Internet Watch, 2012, <https://internet.watch.impress.co.jp/docs/special/564423.html>
- [5] User Manual/ARC-8050T3 Rackmount, 178, 2022.
- [6] Snapshot Replication, https://www.synology.com/en-global/dsm/feature/snapshot_replication

謝辞

大気物理分野 岡本創主幹教授と大気放射分野 佐藤可織准教授には多大なるご迷惑をお掛け致しましたが、寛大なるご理解とご配慮を賜りつつ運用再開までの貴重な経験をさせて頂きました。この場をお借りして、御礼を申し上げます。